核能簡訊

雙月刊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 168

2017 OCTOBER



昔重核發 今談除役—台日核能安全交流30年

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.168 雙月刊

OCTOBER 中華民國一〇六年十月號

熱門話題

輻射與生活

封面故事

專題報導

讀者論壇

核能脈動

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠

編者的話

這次在東京舉辦的「第 2 屆台日核能專家研討會」中，日本專家不斷提到，日本能源政策的精髓是 3E+S，即以能源的安全性（Safety）為前提，把能源的穩定供給（Energy Security）放在第一位，提高經濟效率（Economic Efficiency）實現低成本的能源供給，同時實現與環境（Environment）的和諧發展。

針對 2030 年日本理想的電力結構配比，日本政府確定了以下方案：再生能源 22-24%、核能發電 20-22%、煤炭火力發電 26%、天然氣火力發電 27%、石油火力發電 3%。

為什麼日本政府的能源政策中還繼續保有核能作為基載電力？主要是福島事故之後核電停擺，日本貿易赤字不斷增加。30%核能電力供給的缺口，都轉由燃煤、燃油、燃氣發電來供應。和台灣一樣，日本是缺乏自產能源的國家，大約 9 成的能源仰賴進口，尤其煤炭、石油、天然氣幾乎全部依賴進口，因此進口能源成本大幅上升。2011-2013 財年，日本的發電燃料成本分別上升了 2.3 兆、3.1 兆以及 3.6 兆日圓（約 1 兆新台幣）。

第 2 個原因是，日本電力產業及一般產業的反彈，進口能源的成本昂貴，使得電費高漲，漲幅高達 20%，導致日本部分產業失去競爭力。以日韓競爭激烈的汽車產業來說，2012 年韓國現代汽車全球的銷售額增加 8.4%，但日本豐田汽車銷售額則下降 1.3%。

「溫室氣體排放增加」則是第 3 個原因，日本因零核電而大量使用傳統化石能源，2012 年的碳排放總量比 2010 年增長了近 12%。

也是因為上述 3 個原因，日本專家在這次的研討會中提出疑問──台灣的核電廠如果 2025 年全部除役，電力缺口真的可以由清潔能源取代？可以達到對巴黎氣候協議的承諾嗎？因為就他瞭解，日本做不到，其他國家應該也做不到，他相信全世界都在看台灣是否能做到。

同樣是「能源窮國」的我們，眼看著日本的能源政策因勢制宜的大轉髮夾彎，我們是否能從中窺見一些現實的端倪，重新審視我國的能源規劃與配比。

大氣與**健康**

文・宮野　廣 譯・朱鐵吉



我們每天需要呼吸15,000公升的空氣，重量約20公斤，運動時則增加約10倍的空氣量。我們每天飲食的量約3-5公斤。通常吸入新鮮空氣至肺部，由肺部的肺泡吸收空氣中的氧氣，氧氣隨著血液運送至全身，是身體產生能量的要素，二氧化碳則經由血液運送到肺部，隨著呼氣排出。

大氣汙染對肺的影響

地球外圍的大氣層受到形形色色的汙染，一再排放的溫室氣體導致大氣中也含有很多污染的微粒子，對人類健康造成重大的危害。

大氣汙染除了對人類和動植物會有危害之外，一般建築物及各種材料會因大氣中所含的氧或汙染物質，導致老化、劣化和金屬的鏽蝕，逸出的粉塵會使空氣中汙染物質濃度增

加，汙染物質對部分地區和全世界廣泛區域的人類都會造成健康上的危害。

對人類的危害，主要是在肺部。大氣中有害的汙染物質大致分類如下：

1. 粒狀物質（PM）：吸入肺部後引起發炎。
2. 二氧化氮氣體（NO_2）：刺激肺部的呼吸管道，引起氣喘（慢性閉塞性肺疾病）。
3. 臭氧（O_3）：減低肺活量，刺激呼吸道。
4. 二氧化硫（SO_2）：對氣喘病患者會引起呼吸道器官發炎。

直徑比 PM2.5（2.5 微克 / 立方公尺）更小的粒子，人體吸入後會深入肺的內部，大範圍的傷害肺部，造成發炎等疾病。

大氣汙染與健康傷害的歷史

大氣汙染對健康有深遠的危害，最初發現的時候，是在 1952 年 12 月發生於英國的「倫敦煙霧」事件。當時倫敦的家庭全部都用煤炭作為暖氣燃料，每個家庭的煙囪都吐出燒煤的廢氣。嚴寒時燃煤的量更多，飛散到大氣中的廢氣上升至逆溫層後，汙染的空氣便一直滯留在大氣底層，煙霧瀰漫在人類的生活環境中無法擴散，數日後倫敦市內死亡人數增至 4,000 人以上。當時倫敦在死亡人數急遽增加期間，每日二氧化硫平均濃度為 0.7ppm，粉塵的量達每立方公尺 1.6 毫克。

當時倫敦的大氣汙染濃度比環境限值基準高出 10 倍以上。依照目前先進的疫學研究結果，PM10 和 PM2.5 濃度上升時死亡率會增加，顯示出罹患呼吸器官疾病和循環器官的疾病都增加。尤其是汽車排氣中 PM2.5 濃度分析的結果，每立方公尺上升 10 微克的 PM2.5 微粒，死亡率就會增加 3.4%（F.Laden，2000 年發表的論文）。

目前世界的大氣汙染

世界衛生組織（WHO）根據大氣汙染的影響，評估推測 2012 年全世界有 700 萬人因而死亡，是一般評估值的 2 倍；如果減少大氣汙染的話，可以解救數百萬人的性命。因此，各國紛紛採取減少大氣汙染的因應措施。室內利用柴火和煤炭導致空氣汙染是傷害健康的重要原因。分析評估指出，全球因室內空氣污染致死者約有 430 萬人，室外 370 萬人，所有



的室內外因素，相互交叉綜合評估，全世界室內外空氣污染致死合計高達近 700 萬人。

以地區來看，包括日本、中國和西太平洋國家等約 280 萬人死於空氣污染，東南亞國家約 230 萬人，這些地區死亡人數之和超過世界總額的一半。西太平洋和日本等高所得國家每 10 萬人中死亡數約 32 人，中國和較低所得的國家為 172 人，相差了 5 倍以上。

空氣汙染引起的疾病以腦中風和缺血性心臟病較多，室外空氣汙染的改進方法較為困難，室內則可用空氣清淨機來過濾污染物質。

大氣汙染的擴大

大氣汙染是全球環境的重大課題，會影響人類的健康。2013 年一項調查研究結果推測，在日本每天約有 180 人因大氣汙染提早死亡。

燃煤電廠是大氣汙染最重要的來源，因此，日本現在正計畫建設新型的燃煤電廠。新型燃煤電廠熱效率高，除汙裝置效果良好，比起一般舊型的火力電廠，同樣發電量，大氣汙染物質的排放量減少甚多。

但是，燃煤廢氣中含有的二氧化硫、氮氧化物（NOx），附著在微粒中排出，這是很難避免的事。新型的燃煤電廠也會排出飛灰、微粒子汙染物，經濟發展先進國家如美國和日本，尚未全力展開新型燃煤電廠的建設。

火力電廠多數建設在人口稠密地區，對健康產生重大危害。以燃煤電廠排氣中汙染濃度對附近區域空氣的影響，評估的結果如下：

以東京地區來說，如果所有計畫中的發電廠均在設置完成後開始運轉，加上目前已有的大氣汙染，新型燃煤火力電廠對健康影響將會更惡化。它的影響會導致每年提早死亡人數上升至 260 人。一般火力電廠運轉年數約 40 年，評估其影響，總計約 6,000-15,000 人因其汙染物而提早死亡。其他地區的燃煤電廠大部分設置在人口密集區，對健康的影響類似於東京地區。

燃煤電廠的排氣會停留在電廠上空約數百公尺的廣大範圍，有毒的二氧化氮微粒子濃度會一再上升。二氧化硫、氮氧化物和灰塵的排放導致 PM2.5 量的上升，成人罹患腦中風、肺癌、心臟疾病和呼吸器官疾病的風險增加，小孩罹患呼吸器官疾病的風險亦會增加，這種影響並不是只限於局部地區，隨著大氣氣流在高空擴散，汙染地區包括日本和朝鮮半島四周 1,500 公里均受影響，估計總人口數大約 2 億 1,000 萬人。

結語

大氣汙染對人類的影響，必須確切地認識它。良好清潔無害的空氣是我們所追求的目標，飲用水和食品也是一樣。目前並不是只企求自己所需要的乾淨空氣，而是要考慮到大範圍地區的人口，甚至全世界人類，大家應致力於改善大氣汙染源頭，讓全人類都能呼吸到潔淨的空氣。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

參考資料：

1. The Wall Street Journal, by Cris LARANO. 3-26-2014
2. 「大気汚染による死者､世界で 700 万人 WHO12 年推計」
日本経済新聞 2014 年 3 月 25 日。

空氣污染是全球人類致死的環境主因

文‧編輯室

一份新的研究報告顯示，空氣汙染是世界 5 大死亡原因中的環境致死主因，中國與印度在 2015 年共引發了 2.2 次與污染有關的重大死亡事件，因汙染相關的死亡人數持續攀升。使全球 92%的人口生活在有害健康的空氣中。

《2017 年全球空氣狀況報告（The State of Global Air 2017）》顯示，2015 年有許多人因長期曝露於有害的懸浮粒子之中，共造成 400 多萬人過早死亡，相當於 1.03 億年的健康生活。這份研究是健康影響研究所（Health Effects Institute, HEI）和健康指標與評估研究所全球疾病負擔計畫（Institute for Health Metrics and Evaluation's Global Burden of Disease Project）的研究成果，研究顯示，中國與印度是空氣汙染致死受影響最大的兩個國家。而消費者新聞與商業頻道（Consumer News and Business Channel, CNBC）的報導指出，英國因空氣汙染而死亡的人數，每年也以 4 萬人的速度增加。

HEI 所長格林堡（Dan Greenbaum）在一份聲明中表示：「我們看到了全球空氣汙染問題日益嚴重，雖然由報告趨勢中我們也看到了有一些地方在進步，然而嚴重的挑戰依然存在。」遺憾的是，這些懸浮粒子往往影響著老人與小孩，這也讓人類較脆弱的族群身處於更高的風險中。

根據哈佛大學支持的一份研究報告所公布的數據顯示，預計到 2030 年，東南亞的碳排放量將增加為 2011 年的 3 倍，導致與污染相關的死亡人數增加。哈佛和綠色和平（Greenpeace）組織的研究人員表示，東南亞的電力需求預計將在 2011 年到 2035 年之間增長 83%，是全球平均水平的兩倍。哈佛大學的首席研究員科普立茲（Shannon Koplitz）在聲明中表示：「中國與印度的空氣污染已經受到很多科學方面的關注。」

此研究將經濟發展、人口增長和城市移民作為能源需求巨大飛躍的原因，並指出在東南亞這些需求仍然可能由燃煤發電廠供應。研究報告也強調空氣污染的後果是嚴重的，估計此地區每年約會有 2 萬人死於燃煤電廠的排放污染，在 2030 年前每年死亡人數則將增加到 7 萬人。

資料來源：

1. 2017/03/03, Katie Medlock, Inhabitate
http://inhabitat.com/air-pollution-is-the-leading-environmental-cause-of-death-worldwide/
2. 2017/02/14, CNBC
http://www.cnbc.com/2017/02/14/around-22-million-deaths-in-india-and-china-from-air-pollution-study.html

815 大停電那天

文・張文杰

815 大停電事故簡述

106 年 8 月 15 日 16：51，中油的包商巨路國際公司在進行電動閥更換作業時操作不當，導致天然氣供氣突然中斷，大潭電廠 6 部機組全部因此而跳機。整體電力供應瞬間減少約 415.7 萬瓩，約占當時全台負載的 11.94%，系統頻率因此瞬間快速下降。為確保全國電力系統穩定，低頻電驛（電力系統保護設備）於 16：51 自動啟動切離部分用戶，卸載約 336 萬瓩，造成全台各地多處無預警停電，影響約 154 萬戶。經低頻卸載及緊急調度抽蓄機組因應後，系統頻率於 16：58 恢復至穩態（60Hz）。

因為供電能力低於負載（用電需求），所以台電於 18：00 執行緊急分區輪流停電措施，之後依照大潭機組恢復供電情況，逐步減少輪流停電戶數，到 21：40 全面解除，影響約 438 萬戶。無預警停電和分區輪流停電影響的戶數總計約有 600 萬戶。

815 全台電力供需狀況

當日用電尖峰的時間為 13：58，系統淨尖峰供電能力為 3,760 萬瓩，瞬時尖峰負載為 3,645.3 萬瓩，備轉容量為 115.7 萬瓩，備轉容量率為 3.17%；在事故發生前 1 分鐘的 16：50，因為大林新 1 號機解聯停止測試，天色漸晚使太陽光電發電量減少等因素，所以系統供電能力下降至 3,684 萬瓩，瞬時負載為 3,481 萬瓩，當時備轉容量為 203 萬瓩，備轉容量率為 5.83%。

台電預估當晚的尖峰負載是在民眾回到家中使用電器，且夜市開張的 19：00，此時供電能力約是 3,190 萬瓩，台電預估負載為 3,415 萬瓩，備轉容量因此不足 225 萬瓩，這

表 1. 815 大停電事故各階段影響範圍表

階段		卸載（限電）量	受影響戶數
低頻電驛自動卸載		約 336 萬瓩	約 154 萬戶
緊急分區輪流停電	第一輪（18:00-18:50）	約 329.3 萬瓩	約 438 萬戶
	第二輪（18:50-20:00）	約 298.2 萬瓩	
	第三輪（20:00-20:50）	約 173.2 萬瓩	
	第四輪（20:50-21:40）	約 69.2 萬瓩	

備註：扣除重複停電戶後，共計約 592 萬戶受影響　　（資料來源：台電公司）

表 2. 815 全台電力供需狀況

時間點	13:58	16:50	19:00
供電能力	3,760 萬瓩	3,684 萬瓩	3,190 萬瓩
瞬時負載	3,645.3 萬瓩	3,481 萬瓩	3,415 萬（預估值）
備轉容量	115.7 萬瓩	203 萬瓩	負 225 萬瓩（預估值）
備轉容量率	3.17%	5.83%	負 6.59%（預估值）

（資料來源：台電公司）

3 個時間點的全台電力供需狀況如表 2 所示。

無預警停電和緊急分區輪流停電的差別

無預警停電是因為整體電力供應瞬間大量減少，系統頻率瞬間快速下降，系統頻率降到 59.5Hz（最低連續安全運轉頻率）超過 50 秒，或是低於 59.1Hz 時。若任由系統運轉頻率長期低於 59.5Hz，可能對發電機組及其他機電設備造成損害，甚至導致供電系統崩潰。所以必須從系統中卸除適量的負載，進而拉升系統頻率，稱之為「低頻卸載」。若沒有進行低頻卸載，將導致供電系統崩潰，以及可能有更多發電機組跳機，無預警停電的範圍和戶數會大幅增加。

815 當天是系統頻率瞬間快速下降至 59.1Hz，低頻卸載因此自動啟動，台中電廠 5 號機於 17:05 因頻率不穩而跳機，雖然行政院報告指出台電應該檢討，但是筆者認為依當時的情況，是系統上所有的機組都受到影響，只有 1 部機組處置不當而跳機，台電的整體表現已算優秀，雖有可改進的瑕疵，但仍該給予台電掌聲與肯定。

緊急分區輪流停電是因為供電能力低於負載，也就是備轉容量低於 0 時，只好停某部分用戶的電，讓其他大部分的用戶有電可用。有些國家的程序規定是備轉容量低於規定容量，例如韓國是低於 100 萬瓩就要緊急分區輪流停電。

考量停電對工業的衝擊，要求工業限電必須在前 1 日或 8 小時之前通知，所以緊急的分區輪流停電只對民生用戶實施。而輪流停電週期為 50 分鐘，是考量到冰箱食物解凍後容易腐壞，所以訂 50 分鐘為限。

由此可知，無預警停電和緊急分區輪流停電的啟動條件是不一樣的，兩者不一定會接連發生。例如韓國在 2011 年 9 月 15 日因天氣異常，首爾氣溫高達 31 度，導致用電量驟升，備轉容量只剩 34 萬瓩，在 3:30 時執行緊急分區輪流停電，影響約 162 萬戶，但是沒有發生系統頻率瞬間快速下降的無預警停電。

大潭電廠的簡介

815 大停電之後，外界多將焦點放在中油操作流程缺失、系統設計缺失、營運管理缺失以及台電及中油要加強聯繫，協調落實共同管理機制等，本文就不再討論。筆者在此先簡介大潭電廠，之後對大潭電廠的改善提出幾點建議。

位於桃園的大潭電廠，第 1 台氣渦輪輕油機組於民國 94 年並聯後（第 1 和第 2 機組是先用輕油，後來改用天然氣），直到 99 年 6 組燃氣複循環機組全部完成改為天然氣商

轉，總裝置容量高達 438.4 萬瓩，是全台最大天然氣電廠。

大潭電廠機組都是新型複循環發電機，效率可高達 58.75%。另外，複循環機組的氣渦輪機升降載速度反應靈敏，遠比一般火力機組快速，在電源開發計畫中是屬於「中尖載」機組，預定的容量因數為 36%。所以大潭電廠有以下的優點：1. 有助於台灣溫室氣體的總量管制。2. 節省天然氣整體發電成本。3. 協助系統頻率調整，對於提高供電品質有很大的貢獻。4. 擔任系統全黑起動電源，作為系統緊急情況的備援。5. 大幅提升北部供電能力，減緩南電北送的情況。

大潭電廠的隱憂主要有兩個，一是電廠對外聯接 345KV 超高壓輸電線只有一路兩回線，若遇雷擊或其他事故兩回線跳脫，在尖峰出力高時 161KV 輸電線無法承擔，必須跳脫部分機組。

二是北部沒有天然氣接收站，必須從台中天然氣接收站拉管路到大潭電廠，雖然有海底管線和陸上管線兩種，但是海底管線是高壓供應，陸上管線是低壓供應，兩者沒辦法馬上切換使用。平時只靠一條管路的海底管線供應，若遇到海底管線故障斷氣，大潭電廠就要緊急降載，甚至可能全部停機。

今年 4 月 27 日和 8 月 23 日晚上 6、7 點，就發生過台中天然氣廠因海水泵故障無法供氣，大潭電廠 6 部機組全數緊急降載近半的事故。還好中油及時修復並恢復供氣，所以沒有全部停機，不然又要緊急分區輪流停電。

對大潭電廠的改善建議

我國核電廠都有進行「安全度評估（Probabilistic Risk Assessment, PRA）」，找出電廠系統的缺點並改善。例如各核電廠增設 1 台額外的柴油發電機，稱為第 5 台柴油發電機，以加強電廠處理喪失外電的能力並降低風險，就是因為進行 PRA 後得到的主要建議之一。

2001 年 3 月 18 日，核三廠的廠外輸電迴路因當地鹽霧而喪失外電，1 號機組又出現兩台專屬的柴油發電機都故障，雖然仍有直流電池可短暫供電，但主要是仰賴這第 5 台柴油發電機成功啟動，核三廠因而可以避免事件進一步惡化，最終在國際核災分級中，僅屬於一級事故。由此可知 PRA 的功效與重要性，建議大潭電廠與其他電廠也進行 RPA，找出電廠系統的缺點並改善。

台灣核電廠對外聯接 345KV 超高壓輸電線都是兩路兩回線，大潭電廠的裝置容量遠高於核電廠，但只有一路兩回線，而且未來還會增設新機組，所以對外聯接的輸電線路必須要再加強。也可以學習核電廠的機組是獨立運轉，不會相互影響，但保有相互支援的功能。

表 3. 大潭電廠 6 部機組裝置容量

機組	商轉日期	裝置容量（瓩）	燃料種類
大潭複一機	95.08.17	742,700	天然氣
大潭複二機	95.12.26	742,700	天然氣
大潭複三機	96.11.12	724,700	天然氣
大潭複四機	96.11.12	724,700	天然氣
大潭複五機	97.07.03	724,700	天然氣
大潭複六機	97.1.14	724,700	天然氣
合計		4,384,200	

（資料來源：台電公司）



興建北部第3座天然氣接收站是必要的，不過最快 2024 年才會蓋好，只有 1 條海底管線的隱憂在近期是無法解決。因為要建第 2 條海底管線的難度極高，近乎不可能。在大潭電廠內建天然氣儲存槽也不可行，因為天然氣體積非常龐大，必須先降溫冷凍至攝氏零下 162 度，液化後體積縮小至 1/600 才方便大量儲存。中油在永安和台中的儲氣槽都是依此法儲存液化天然氣，並非儲存普通的天然氣。如果管路出問題，儲氣槽必須先花一段時間將液化天然氣升溫氣化才能使用，所以在天然氣電廠內設置天然氣儲存槽，也無法在管路出事時馬上銜接至機組。另外，目前法令規定只有中油可以設天然氣儲存槽，台電不能設置，所以所有的天然氣電廠都沒有設天然氣儲存槽。

在電源開發計畫中，大潭電廠是屬於中尖載機組，規劃的容量因數 36%。大潭電廠早期的容量因數也如規劃中的在 36%上下，但是近年因為備轉容量不足，容量因數逐年升高，到 2016 年，容量因數將近是規劃的兩倍，等於是變成基載機組，而且失去了大潭電廠擔任系統全黑起動電源、作為系統緊急情況備援的優勢，這樣出事的機率當然也隨之上升。

所以要將現在過低的備用容量率提高，如同 815 停電事故行政調查專案報告中的建議，使備用容量率達到法定的 15%，並多設置基載機組，讓大潭電廠回歸到中尖載機組的定位，才是治本之法。

如果當時核電機組全部運轉？

當時核一廠兩部機組和核二廠 2 號機因為不同的因素停機沒有運轉，這 3 部機組的裝置容量為 225.7 萬瓩。如果全部運轉，16:50 時的系統供電能力會提升到約 3,900 萬瓩，備轉容量約 419 萬瓩，備轉容量率約 12%。

根據台電 101 年度低頻卸載模擬結果，系統若突然減少約 200 萬瓩，就不可避免會啟動低頻卸載。所以就算 815 當天核電機組全部運轉，大潭電廠雖不至於 6 部機組都近滿載發電，但預計發電量仍會超過 200 萬瓩。換言之，仍然會啟動低頻卸載，導致發生無預警停電。

但是在 19:00 時，供電能力不足的 225 萬瓩，如果核電機組全部運轉是有辦法讓備轉容量高於零，理論上就不會實施緊急分區輪流停電，大概在大約 18:00 就可以恢復供電，影響的戶數可從 600 萬戶大幅降低至 154 萬戶。❁

（本文作者為清華大學工程與系統科學系研究助理）

參考資料：

1. 815 停電事故行政調查專案報告
http://www.ey.gov.tw/News_Content2.aspx?n=F8BAEBE9491FC830&s=A9A6F77E3E777910
2. 中華民國電驛協會 - 淺談低頻卸載
3. 台電前調度處處長 Blog-- 從大潭、通霄電廠是不是「蚊子電廠」談燃氣發電甘苦經驗

什麼是「放射性」和「輻射」(四)

文・朱鐵吉



問 10. 放射性的活度究竟是怎麼回事?

答:放射性的活度是指放射性物質 1 秒鐘之內放射出的輻射(α 射線、 β 射線、γ 射線)的數目。放射性物質的量多,則每秒鐘從放射性物質放出的輻射個數當然也多。但是,同樣是 1 克的放射性物質,因種類不同每秒鐘放射出的輻射(輻射的放射率)也就不同。換言之,輻射的放射率是由放射性物質的種類決定的。

例如 1 克鐳 226,1 秒鐘內放射出 3.7×10^{10} 個輻射。1 克鈷 60,1 秒鐘內放射的輻射數目約是鐳的 1,000 倍,達到 4.2×10^{13} 個。與此相反,1 克鈾 238,相當於 300 萬分之 1 克鐳放出的輻射數目,為 1.2×10^{4} 個。可見,放射性活度不僅與放射性物質的量有關,而且與其種類也有關。

放射性物質的量與普通物質的量都可只用「克」或「公斤」表示,但用 1 秒鐘內放

表 1. 我們身邊的放射性活度與含量

地殼	3.7×10^{25} Bq	菠菜	89-222 Bq/kg
1 噸的氫彈爆炸	3.7×10^{21} Bq	沙拉油	181 Bq/kg
癌症治療機	18.5×10^{13} Bq	糙米	74 Bq/kg
日本山梨縣增富溫泉	11,100 Bq/L	尿	111 Bq/kg
人體（60kg）	7,400 Bq（0.2 μ Ci）	牛奶	52 Bq/kg
進口食品限值	370 Bq/kg	海水	11 Bq/kg
土壤	155 ～ 1,025 Bq/kg	自來水	0.74 Bq/kg

註：Bq/kg 等於貝克 / 千克

出的輻射的量，即用放射性活度來表示時，則這種方法比較便利。放射性活度的單位是貝克（Bq），貝克為個 / 秒，即指放射性物質的活度為 1 貝克時表示它 1 秒鐘內放射出 1 個輻射；同時也意味著 1 秒鐘能放射出 1 個輻射相同的放射性物質的量。

除了貝克外，放射性活度的單位還常用居里（Ci），它是以 1 克鐳 1 秒鐘內放射出的輻射的個數（370 億個）為尺度的單位。因此，如果某放射性物質 1 秒鐘內放射出 370 億個輻射，那麼它的放射性活度就是 1 居里。換言之，1 居里的放射性物質與其種類和質量無關，都是 1 秒鐘內放射出 370 億個輻射。居里與貝克之間的換算係數是 1 居里（Ci）= 3.7×10^{10} 貝克（Bq）。

放射性活度也常簡單的稱為放射性，1 克鐳的放射性就是 1 居里。與此相應，約 1 毫克（mg）的鈷 60 相當於 1 居里（1 克的鈷 60 為 1,000 居里）；約 3 噸的鈾 238 才相當於 1 居里。你可能會感到不可思議，質量都是 1 克，鐳的放射性是鈾 238 的 300 萬倍。

問 11. 要多少放射性（放射性物質）量進入人體內會有危險？

答：我們身體的周圍有各式各樣的放射性物質，表 1 列出了這些放射性物質的量和濃度，其中以地殼中含有的放射性物質為最高，其總量推算為 3.7×10^{25} 貝克。一噸（相當於 100 萬噸火藥）的氫彈（為廣島型原子彈威力的 80 倍）爆炸時，釋放出約 3.7×10^{21} 貝克的放射性。車諾比核電廠事故外洩的放射性約 2.0×10^{18} 貝克。

車諾比核電廠事故時，受放射性污染的進口食品安全性成為社會關注的大問題，因此國際上規定食品的法定標準限值為 370 Bq/kg。假定從歐洲進口的食品都已受到相當於限值的放射性污染，那麼吃這些食品 1 年，則體內受到放射性物質放射出的輻射曝露的劑量（體內曝露）為 0.4 毫西弗。（編按：我國的標準限值已調降至 100Bq/kg）

任何食品中都含有極微量的天然放射性物質（天然放射性），就像沒有任何食品中不含大腸桿菌等細菌一樣，地球上沒有不含放射性物質的食品。放射性物質不是氰化鉀或沙林那樣的劇毒物，致死量的想法並不適用，至於有害無害的標準是考量食品中放射性物質含量的多寡。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

昔重核發 今談除役——
台日核能安全交流 30 年

文·編輯室

台灣與日本在核能界的交流長久且密切，由我國社團法人中華民國核能學會以及日本原子力產業協會（Japan Atomic Industrial Forum，簡稱 JAIF）每年輪流在兩國舉辦的「台日核安研討會」已於今（2017）年邁入第 30 屆，定期的召開研討會使得台灣與日本每年都可以獲得雙方在核能營運安全方面最新的資訊，互相的進行討論，來提升台日雙方於核能相關的技術與安全。由於原子力產業協會在 2015 年舉行的上一屆會議上提出將會議更名為「台日核能專家會議」的規劃，將會中討論內容的範圍拓寬，並改為每兩年輪流於台灣及日本召開，此次的會議即為第 2 屆的台日核能專家會議，於今年 7 月 17-22 日在日本東京舉行。

本次會議的討論內容主要著重在兩國「除役」方面的議題，包含除役實績與今後的規劃、廢棄物的處置、放射線與除污等。來自我國的代表團由中華核能學會理事長、同時也是清華大學工程與系統科學系潘欽教授擔任團長，以及台灣電力公司林德福專業總工程師擔任副團長，除了中華民國核能學會數名成員之外，還有來自行政院原子能委員會、放射性物料管理局、核能研究所、台灣電力公司、清華大學、核能資訊中心、益鼎工程公司、泰興工程顧問公司以及鋐原能源公司等單位一共近 30 名代表所組成。日方出席人士除了主辦單位原子力產業協會之外，還有日本電氣事業聯合會（FEPC）、原子力除役研究會（ANDES）、關西電力公司（KEPCO）、原子力發電株式會社（JAPC）、原子力研究開發機構（JAEA）、原子力後端推進中心（RANDEC），以及日本如日立、東芝等核電相關建設、運輸廠商代表，一共近 50 名專家與廠商參與此次會議。而本次行程除了研討會之外還安排了至除役中之浜岡核電廠，以及除役業者第一刀具（Daiichi Cutter）、三菱重工業神戶廠進行參訪，對兩者所提供的除役技術進行較詳盡的了解。

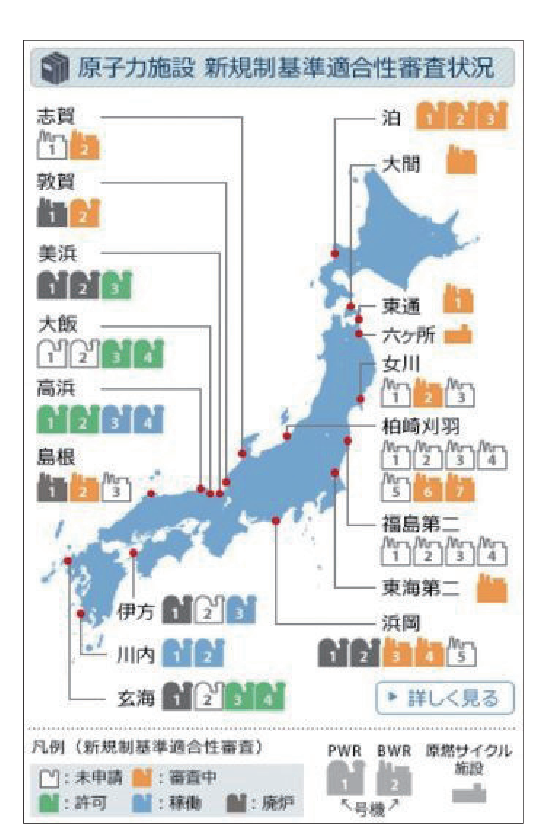
日本核能發電、除役與核後端業務現況

日本核電機組在 2011 年經歷福島事故後幾乎全面關閉，但因日本無自產能源，日本政府必須向國外購買昂貴的天然氣來填補無核電造成的電力缺口，造成國家貿易逆差逐年升高，碳排量也因此增加。貿易赤字是一個原因，但從福島事故後日本陸續成立原子力規制委員會（NRC）、設立新式管制法規、公開 2030 年能源政策——核電將占其中的 2 成，到最近兩年的重啟核電機組，從這段時間日本所採取的措施可以推測出，或許日本從未有放棄使用核能發電的想法。

根據日本電氣事業聯合會代表於本次會議公布的數據顯示，日本 45 部核電機組中已有 26 部向原子力規制委員會申請新制法規審

查，其中川內 1、2 號機組陸續通過新制法規審核，分別於 2015 年 8 月、10 月正式重啟商轉，成為日本福島事故後首座重啟運轉的核電廠；隨後伊方 3 號機組以及高浜 3、4 號機組也分別於 2016 年 8 月以及 2017 年中加入運轉行列，目前一共 5 部機組運轉中。高浜核電廠兩部機組其實在 2016 年初就已重啟運轉，但當時因有居民在重啟前向大津地方法院提出應停止兩部機組運轉的申請，大津地方法院隨後於 3 月作出兩部機組停止運轉的假處分，營運廠商關西電力公司不服因而提出上訴，最終大阪高等法院於今年 3 月底駁回地方法院做出的停機假處分裁決，允許兩部機組再度重啟。

另外，日本目前接近、或著已屆齡運轉年限 40 年的商用核電機組有近 20 部，其中有 3 部已於 2016 年獲准延役，分別為高浜 1、2 號以及美浜 3 號機組，其中高浜兩部機組目前已著手向原子力規制委員會申請試運轉。由於日本「2030 能源政策」的核電占比為 20-22%，若到 2030 年時半數的日本核電機組無法延役的話將無法達到該目標。而其他有 12 部機組：敦賀 1 號、美浜 1-2 號、玄海 1 號、島根 1 號、伊方 1 號以及福島第一核電廠 6 部機組則已確定除役，加上 2009 年就已除役的浜岡 1、2 號機，共 14 部機組。



▲日本福島事故後核電廠申請重啟的審查狀況（圖片來源：日本電氣事業聯合會）

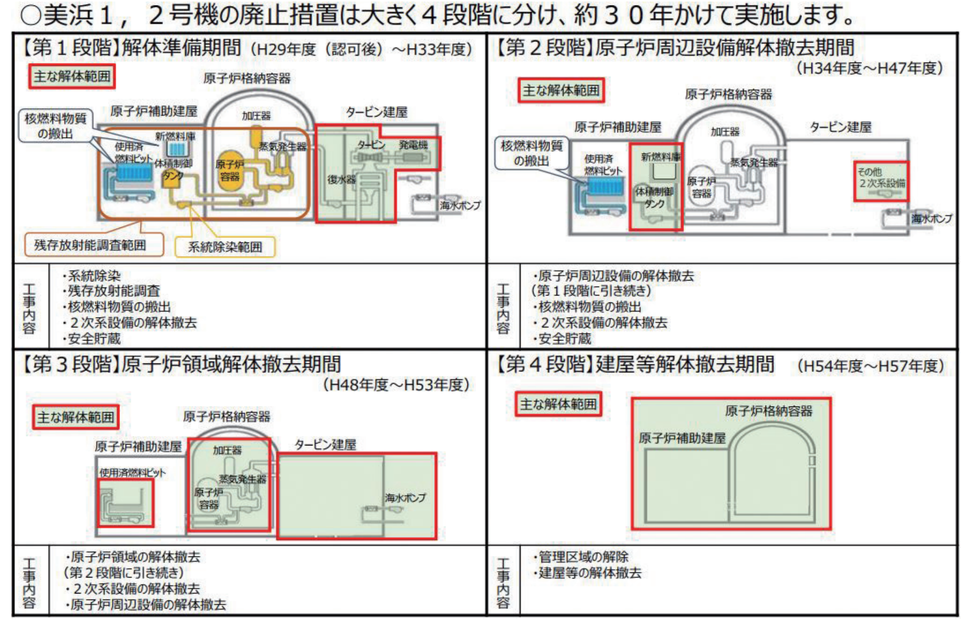
其中敦賀 1 號以及美浜 1、2 號機組的營運廠商日本原子力發電公司以及關西電力公司，均在此次會議對該兩座電廠的除役計畫作出較詳細的簡報。敦賀 1 號的除役計畫已於今年 4 月獲准，過程主要分成拆除準備作業（9 年）、反應爐區域拆除（9 年）以及建築物拆除（6 年）3 個階段，整個過程需 24 年的時間，現在還在第一個階段。最近 3 年的主要工作順序為除污（已完成）、污水處理、放射性程度較低部分的拆除、核燃料遷移（36 束的新燃料元件移出後可再使用，314 束的用過核燃料則轉移至 2 號機的燃料池中貯存）以及最後進入反應爐區域監護（care and maintaince）階段，定期進行輻射檢測。拆廠後所卸下的低放射性廢棄物預計有約 20,600 噸，其中像是長椅、地磚等不需受到管制、可釋出再利用的有 7,800 噸，占了近 4 成，其他的則需依其放射性程度來選擇處置方式，如低放射性廢棄物最終處置場等。

至於美浜電廠 1、2 號的兩部壓水式反應爐除役計畫也於 4 月剛通過審查，將於近期開始分成 4 個階段的除役工程：拆除準備、反應爐周邊設備拆除、反應爐區域拆除以及建築物拆除，預計於 2045 年完成整個除役工程。廠內核燃料將在第二個階段工程完工前完成轉

移，將移出約 110 束的新燃料元件以及 740 束的用過核燃料元件。除役過程拆廠所拆解下來的低放射性廢棄物預計將有約 12,600 噸，可解除管制直接釋出的數量超過 6 成，其他需受到管制的低放射性廢棄物在除役工程完工後將會轉移至低放最終處置設施。旗下有 11 部核電機組的關西電力公司表示，由於目前在日本尚未有任何壓水式反應爐完成除役，目前正結合各方力量來進行。

因福島事故所付出的代價慘痛，日本在事故後於核能安全方面也立即做出全面的改善，除了主管機關提高核安標準，使各電廠若要重啟運轉必須做出設備的改良之外，還有電廠事故發生時所採取措施以及工作同仁訓練教育的加強等，以降低事故發生率。另外，各電廠在核安方面作出的努力也不可以間斷，各大核電電力公司也互相簽署協議，或與如世界核能發電業者協會（WANO，於東京設有分部）、日本核能安全協會（JANSI）等民間組織合作，加強各方之間的溝通與技術交換，將核能安全的等級提升至全球最高。

在核能後端營運方面，由於用過核燃料經過再處理後可回收其中 95%的鈾以及 1%的鈽，並製成鈾鈽混合氧化物燃料（MOX Fuel）再次供核電廠使用，日本覺得採取用過核燃料再處理能確保能源的有效利用，以提高國家能源安全，還可以降低高放射性廢棄物的體積，因此成立日本原燃（JNFL）、原子力發電環境整備機構（NUMO）等單位，並在過去 30 年間在青森縣六所村建立如用過核燃料再處理廠、鈾濃縮廠、混合氧化物燃料製造廠、低放射性廢棄物掩埋場、高放射性廢棄物中期貯存設施等一系列核能後端營運設施，除了再處理廠以及混合氧化物燃料製造廠尚未竣工之外（預計分別於 2018 年上半年以及 2019 年完成），其他均已開始運轉。而為了確保遵守《核



▲美浜 1、2 號機組除役 4 階段工作內容，紅色區塊為各階段建築物的拆除範圍（圖片來源：關西電力公司）

不擴散條約》，日本也表示由再處理過程中所提煉出來的鈽會全數進入混合氧化物燃料的製造，不會殘留。

至於高放射性廢棄物最終處置場，日本目前仍處於場址調查的階段，由於高放射性廢棄物的重要性越來越高，日本原子力發電環境整備機構所需的人力也逐年攀升，各核電廠將持續加強相關的研究與理解，來承擔處理高放射性廢棄物的責任。

台灣核能發電、除役與後端業務現況

我國目前有核一二三廠、共 6 部核電機組，以及封存中龍門電廠的 2 部機組，2016 年電力供給中占了 13.5%，其中核一廠 1 號機運轉年限只到 2018 年年底，2 號機到 2019 年 7 月中。由於電業法修正草案在今年初通過，我國核電設備必須在民國 114 年（即 2025 年）前全部停止運轉，不可延長運轉期限，以達到「非核家園」。為配合此政策，台電公司在 2015 年底就已向行政院原子能委員會（原能會）提交核一廠除役計畫申請，於去年 6 月獲准通過，台電隨後於 8 月成立核一廠除役專案小組，開始各項除役準備工作。面對後續核二、三廠的除役作業，台電表示將會依據核一廠的除役技術及經驗推動技術自主，來降低除役成本，核二廠目前已開始除役計畫申請的準備作業。

根據我國核子相關管制法規，我國核電廠除役計畫需採用「立即拆除（由國際原子能總署所定義之 3 種除役方式的其中一種）」的方式，在核子設施關閉後數年內即將含有放射性廢棄物的設備與建築進行除汙與拆除作業，業者還必須在核子設施停運日期的 3 年前向原能會與環保署提交除役計畫。另外，核子設施的除役時程應於獲得除役執照後的 25 年內完成。

根據台電公司本次簡報顯示，核一廠預計在完成約 6 年的「除役規劃與執照申請」後於 2018 年底開始除役計畫，整個過程分成停機過渡（8 年）、除汙拆廠（12 年）、最終狀態偵測（3 年），以及場址復原（2 年）共 4 個階段，所需時間為 25 年，符合法規年限。第一階段作業包含了反應爐關閉、用過核燃料轉移至用過燃料池、系統除污、場址特性調查，以及設立用過核燃料獨立貯存設施（即乾式貯存設施）等；第二階段作業有用過核燃料轉移至獨立貯存設施、反應爐壓力槽與燃料池等區域的拆解、混凝土與建築除污等；第三階段作業為反應爐外圍設備建築物拆除、土壤整治復原與最終場址調查；第四階段則是剩餘建築物的拆除以及地面復原作業。

另一方面，台電公司也與核研所合作，目前核研所已在廠區內完成了約 10,000 個地點的初步輻射偵測，還建立了相關數位資訊系統，利用 3D 模型來輔助核一廠除役計畫。核研所此次也特別介紹了數種適合核一廠建築的切割技術，並對各種技術的優缺點進行分析，還有對核一廠輻射偵測以及廢棄物的盤點、運送與管理等議題做出較詳細的簡報。

台電人員此次也提到，目前我國的低放射性廢棄物都是使用 55 加侖的特殊鋼桶包裝，貯存於各核電廠的低放儲存庫以及蘭嶼低放射性廢棄物中期貯存設施內。蘭嶼低放廢棄物中期貯存設施自 1982 年開始營運，型式為壕溝式的地下貯存場，裡面所貯存的廢棄物有 90%來自核電廠，剩餘 10%為民用低放廢棄物，總貯存容量約是 10 萬桶，已於 1996 年貯滿，均定期進行輻射檢測；而暫貯在 3 座核電廠中目前已累積了近十萬桶的低放射性廢棄物，占總容量尚不到一半（108,238/131,687 桶）。有關國內低放射性最終處置場的設立，由於候選場址的地方政府均不願執行公投而停

電廠	機組	用過核燃料可貯存容量（束）	用過核燃料現有貯存量（束 / 噸鈾）	燃料池預計貯滿時間	運轉年限
金山（核一廠）	1 號	3,083	3,074/528	2017 年 6 月	2018 年 12 月 5 日
	2 號	3,083	3,076/529	2017 年 6 月	2019 年 7 月 15 日
國聖（核二廠）	1 號	4,838	4,548/765	2021 年（至除役）	2021 年 12 月 27 日
	2 號	4,398	4,388/738	2017 年 5 月	2023 年 3 月 14 日
馬鞍山（核三廠）	1 號	2,160	1,452/580	2024 年（至除役）	2024 年 7 月 26 日
	2 號	2,160	1,468/587	2025 年（至除役）	2025 年 5 月 17 日
總額		19,722	18,006/3,727		

註：本表資訊為截至 2017 年 6 月　　資料來源：台電公司

擺，導致目前暫貯於蘭嶼的低放廢棄物仍無法轉移出場。存於 3 座核電廠內的低放射性廢棄物，若到電廠除役時場址問題尚未解決，廠內的低放廢棄物也將面臨一樣的問題。

屬於高放射性廢棄物的用過核燃料，在退出反應爐後需貯存在用過核燃料池中數年，待放射性自行衰退至一定程度後還需經過數十年的乾式貯存後才可進入最終處置的階段。但目前核一二廠的乾式貯存設施都因地方政府至今仍未核發水土保持完工證明，均未能啟用，導致核一廠 2 部機組以及核二廠 2 號機都無法營運至 40 年運轉年限，因為這 3 部機組的用過核燃料池都已在今年 6 月接近貯滿的狀態，核二廠 1 號機與核三廠 2 部機組預計有足夠的貯存空間，可運轉至年限。台電估計，在 3 座核電廠 6 部機組均屆齡 40 年後所卸下的用過核燃料約會有 5,000 噸的鈾，對此核研所也表示，因為安全的問題，在用過核燃料未完全移出電廠內的用過核燃料池之前，廠房的拆解就無法開始，代表除役計畫一定會受到影響。

台電人員在最後綜合討論的時候提到，我國因為非核家園政策導致除役的計畫提早了有 20 年，而於 1986 年成立的後端基金，最初估計約需要 3,350 億新台幣，至今已累積超過 3,200 億，應可夠用，但由於反核聲浪仍過大，各貯存與處置設施仍面臨無法運轉的困境，台電在溝通這方面必須趕緊加強與改善。而日方專家也指出，電廠工作人員進入除役階段後的心態、思路都需要調整，因為除役跟運轉的方向完全不同，該注意的事項也不一樣，在除役後削減的人力也需做出適當的調配，才可完善的完成長達 25 年、甚至更長久的除役過程。

結語

第二屆台日核能專家會議以核電廠的除役為重點，雙方共發表了 10 篇論文，除了商用反應爐的除役之外還有研究用反應爐的除役技術等，吸引日本近 40 個單位參加，對議題互相進行討論與意見交換，會議成果豐碩，感謝主辦單位原子力產業協會與中華民國核能學會，期待未來與日方的技術交流也能如此良好的延續下去。

台日核安研討會——參訪紀實

文・編輯室

第一刀具（Daiichi Cutter）

位於神奈川縣的第一刀具公司歷史悠久，今年正好在慶祝該公司設立 50 週年，第一刀具去年藉由在我國舉辦的「2016 台日除役技術經驗交流研討會」來台介紹該公司特有的「鑽石切割技術」而引起我國相關單位的注意，希望此次日方主辦單位能安排到該公司進行更進一步的了解，因此成行。

核電廠在除役階段需要將反應爐、廠房等混凝土或金屬產物全部拆除，若有良好的切割技術將可幫助電廠除役作業更為順利。切割作業可分成「冷切割」及「熱切割」兩大類，切割過程中刀具會碰觸到工作者的稱為冷切割，又稱為機械式切割，第一刀具獨特的鑽石索鋸（Dimond saw）即屬於此種。相對於冷切割是使用利刃切斷金屬，熱切割使用的則是介質，例如雷射或電漿等，利用遠端遙控來進行切割。

鑽石索鋸又稱為核心鋸（Core saw），外觀為細繩狀，材質通常是使用直徑約 10 釐米的鋼索，刀刃為鑲在上面的鑽石環，以電鍍或金屬燒結的方式將鑽石環平均的結合在鋼索上。鑽石環之間的小段鋼索具有彈性，使整條鋼索可以彎曲，以輪狀的機器引導改變方向、移動鋼索與被切割物產生摩擦來進行切割，可切割深度達 300 公釐的金屬以及 1,000 公釐的混凝土，但會產生粉末或泥漿等二次廢棄物，切割速度也相對較慢。

第一刀具表示，鑽石索鋸一般用於鑽孔、切割混凝土較多，但也有用在金屬物體或是鋼



▲鑽石索鋸



▲現場參觀第一刀具以鑽石索鋸進行金屬乾式切割作業



▲鋼筋混凝土鑽孔取樣過程

筋與混凝土結合的結構體上。因被切割物體的硬度有差別，技術上會透過調整切割的速度來因應被切割物體的軟硬度，原則上若物體越硬切割的速度就要越快，但此種切割技術所產生的熱能都可控制在攝氏 100 度以下，在高速下所產生的火花也不會燃燒；另外，為了避免切割時產生大量的粉塵，在切割過程中會加入少許的水，或者直接在水下做切割，因切割所產生的粉塵或細微的金屬物會直接沉入水中，水質在沉澱後仍算乾淨清澈。第一刀具的鑽石索鋸目前已用於美浜電廠的除役作業當中，四國電力公司的廢棄物固化體罐也是送到第一刀具來做切割，該公司在核子設施除役的經驗可說是相當豐富。

浜岡核電廠

在完成第一刀具的參訪後我國代表團部分團員於隔天抵達位在靜岡縣的浜岡核電廠，對該廠 1-2 號機組的除役計畫進行了解。由日本中部電力公司營運的浜岡電廠，自 1976 年 1 號機開始運轉以來至今已有 5 部機組，1、2 號機當初因為地震加強工程所需花費不符合經濟效益，因此於 2009 年停止運轉，開始為期 27 年的除役作業，預計於 2036 年完成；3-5 號機組則是在 2011 年福島事故後與大部分日本核電廠相同，均立即停機進行安檢與設備改良（3 號機當時檢修中），目前 4 號機正準備向主管機關日本原子力規制委員會（NRA）申請重啟。浜岡電廠本來還有 6 號機組的建設工程，但在福島事故後全面停止。

浜岡 1、2 號機組的除役計畫分成 4 個階段，分別為拆解工程準備（2009-2015 年）、反應爐周邊設備解體拆除（2015-2022 年）、反應爐本體解體拆除（2023-2029 年），以及剩餘建築廠房解體拆除（2030-2036 年）。兩部機組已於 2016 年 2 月完成第一階段作業，內容包含部分污染狀況調查、設備除污、部分管制區外圍設備的拆除，以及兩部機組的用過核子燃料轉移至 5 號機燃料池作貯存等。目前處於第二個階段，正進行廠內的系統除污，以及延續第一階段的污染狀況調查、反應爐除污、反應爐外圍組件的拆除等。

至於除役過程中所產生的放射性廢棄物，在除役作業完成後會依照其放射性來做分類，以利進行最終處置。但是目前最大的問題是最終處置場尚未決定，電力公司只能暫時將用過核燃料暫存於電廠內，但這個問題若不盡快解



▲浜岡原子力館

決，除役計畫就無法完成。低放射性廢棄物目前也暫時存放在廠內，待除役計畫完成至一定階段後再一併進行處理。

在抵達浜岡核電廠後，我方參訪人員依電廠安排於電廠入口處的「浜岡原子力館」聆聽簡報，該館類似我國核二廠外的台電北部展示館，電廠人員即在此處會議室向我方作出上述除役計畫簡報，同時對我方所有人員逐一進行身份確認及換證，在完成簡報後搭車至電廠內，依規定換上全套的防護衣物與鞋子，配戴熱發光劑量計，到廠內 1 號機的乾井區域以及汽機廠房進行除役實務的參觀，全程禁止攜帶任何電子產品（基本上幾乎無法攜帶任何物品）。所有人員在進、出電廠管制區域都需要感應識別證與熱發光劑量計，在出廠時所有人員都會拿到自感應機列印出來、印有自己名字的輻射劑量表，上方是由入廠時配戴的熱發光劑量計所記錄的數值，這次入廠期間所接受的輻射曝露值均為 0.0 毫西弗。

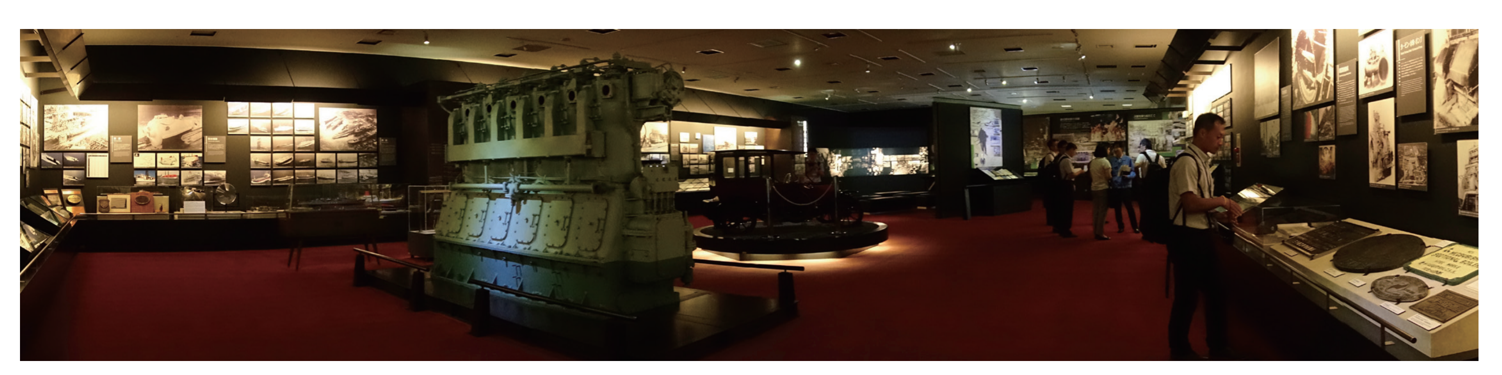
三菱重工公司

1950 年就成立的三菱重工業株式會社（簡稱：三菱重工），公司歷史悠久，規模龐大，業務涵蓋了交通運輸、船舶、航太、鐵路、軍事裝備、空調、馬達、電力設備等各種機械機器設備的生產製造，三菱重工甚至是日本最大的國防工業承包商。這次我方代表團在主辦原子力產業協會的安排下至三菱重工位於神戶的造船廠進行短暫的交流。該園區主要的產業集中在核能與其他發電領域，有一半的銷售額來自發電機與核動力產品，包括壓水式反應爐（PWR）、核動力發電機組零件與馬達等，擁有完善的設計與生產能力，參與了日本 24 部核電機組、甚至還有其他研究用反應爐與六所村的建設工程。

三菱重工原子力事業部的同仁此次針對核子設施除污與拆除的技術，向我方參訪人員介紹三菱重工目前所具備的技術與設備，範圍涵蓋了除污、輻射量測、取樣分析、3D 工程模擬、切割拆除等，以及多種由三菱重工所研發的遙控機器人。具有偵測、攝影功能的遙控機器人可用於核子設施的意外事故處理；而擁有鑽孔、管線切割等能力的遙控機器人則對核子設備的拆除非常有幫助，這些遙控機器人甚至可以在水下、或者不規則的地面上移動，接受比人體還高程度的輻射劑量等，可說是非常好的幫手呢。

日華原子力聯絡會議（關西原子力懇談會）

此次會議主持人宮崎慶次理事致詞時表示，自 1984 年起始，「日華原子力聯絡會議」



▲三菱重工神戶造船廠內歷史介紹區

▲日本核電業者合作協定示意圖（圖片來源：日本關西電力公司）

已有 33 年歷史，台日雙方已奠定深厚的情誼。這段期間也共同走過風風雨雨，尤其是 311 福島事故的發生，重創兩國的核能發展，宮崎理事感到非常抱歉。不過，值得慶幸的是，311 之後，日本制訂了核能安全新基準，在嚴格的管制之下目前有 5 部機組已恢復運轉，12 部機組獲准重啟，也有 6 部機組申請除役。宮崎理事希望在他有生之年也可以看到台灣的龍門核電廠能啟封運轉。

台電公司林德福專業總工程師則表示，他在台電公司服務 41 年，曾在龍門電廠擔任廠長 5 年餘，感謝日商東芝、三菱在建廠過程中諸多的協助。政府的非核家園政策已經正式列入電業法，2025 年時全台的核電廠都將關閉。龍門電廠雖然已經完工，為了配合政府的能源政策，短期內應無法啟封；仍然希望未來這個電廠能對國家社會有所貢獻。

隨後由關西電力公司的木島和夫室長簡報日本的核能發電現況，他提到：

- 日本政府剛成立「原子力風險研究中心（NRRC）」，由國家主導，活用「安全度評估（PRA）」等具體作法因應可能的風險，與 WANO 以及日本國內各研究機構、核電廠討論加強核安的對策。目前進度有些許落後。
- 日本國內各核電廠之間訂立合作協議，共同面對未來可能的緊急應變問題。福島事故發生後，若只有東京電力公司獨自處理，很難全面、妥善的善後，各電廠、業者若彼此合作支援將有助於解決問題。
- 上圖中的「美浜原子力緊急事態支援中心」是日本各核電廠業者共同成立，於 2016 年 1 月 17 日啟用，有 20 名核電廠工作人員每天在其中接受訓練；若發生重大的緊急核子事故時，這批訓練精良的人員可立即前往支援應變。
- 日本的能源計畫為每 3 年制訂一次，2015 年 7 月，政府提出「2030 年核電應占電力結構 20-22%」。以目前日本核電機組運轉壽命 40 年估算，2030 年將無法達成此目標，必須推動現有機組延役至 60 年，並且新建機組。目前，高浜 1、2 號機、美浜 3

號機已經獲准延役，可運轉期限達 60 年。

- 2016 年 11 月，政府為達成巴黎氣候協議的承諾，提出「2030 年溫室氣體減量目標」──比 2013 年減少 26%溫室氣體排放量。2017 年將再次修訂能源計畫，預期會提案新建核電機組，不過，民眾的反對意見仍是最大阻力。
- 目前獲准重新啟動的都是壓水式反應爐（PWR），其實沸水式反應爐（BWR）也同樣有提出重新啟動的申請，因為福島事故發生問題的是 BWR，所以日本原子力規制委員會在審核時更為嚴格，尤其是針對地震、海嘯的改善措施。東京電力公司的進步型壓水式反應爐（ABWR）也提出申請，但是因為東電的身份較敏感，因此若要重啟將更為困難，這已無關安全性，而是社會觀感的問題。

  [編按：NRA 已於 9 月 1 日核准東京電力公司的柏崎刈羽核電廠 6、7 號機可重新啟動。這兩部機組屬進步型壓水式反應爐（ABWR）型式，與我國龍門電廠機組同型。]
- 目前日本國內反核的聲浪仍然高張，只要是核電廠周圍 250 公里範圍內的居民，包括非政府組織（NGO）都可對電廠營運提出訴訟。目前的訴訟案內容大多是民眾向法院申請禁止核電廠運轉的禁制令，計有 31 件，申請假處分的則有 9 件。目前只有 2016 年 3 月 9 日高浜 3、4 號機在大津地方法院敗訴，被判必須停機，隨後關西電力公司上訴至大阪高院獲得逆轉勝訴。之後伊方 3 號機與玄海 3 號機的假處分申請都被法院駁回，四國電力公司與九州電力公司則分別獲得勝訴。

宮崎理事向出席的我國代表團提出他的疑問：台灣的核電廠如果 2025 年全部除役，電力缺口真的可以由清潔能源取代？可以達到對巴黎氣候協議的承諾嗎？因為就他瞭解，日本目前做不到，其他國家應該也做不到，他相信全世界都在看台灣是否能做到。我們當下沒有明確的回覆，只能寄望政府在接下來的 8 年裡完成相關因應措施，保障民眾穩定、清潔、低廉的電力供應。

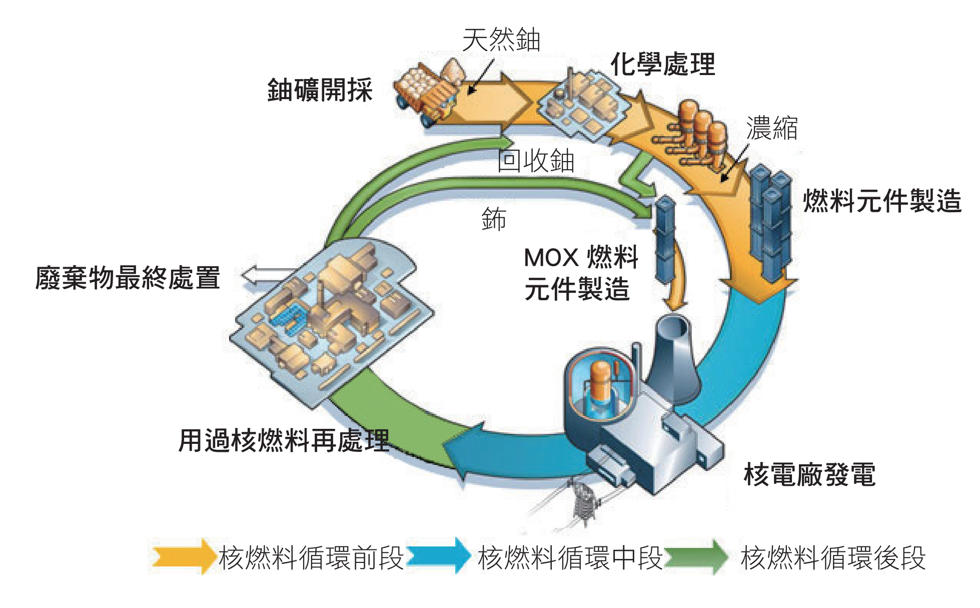


法國用過核燃料再處理設施介紹

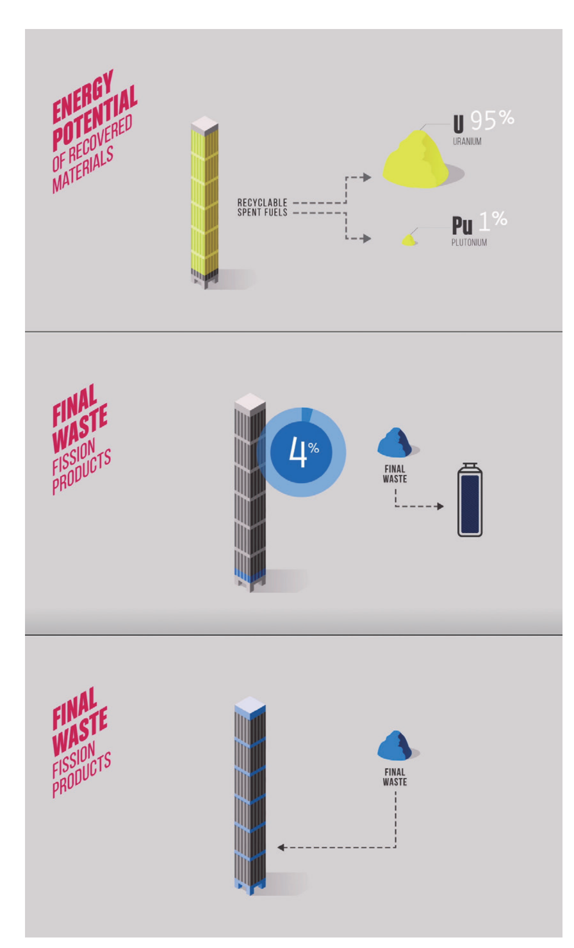
文・編輯室

核燃料循環以反應爐為中心劃分成「前段」與「後段」，前段指的是核燃料在進入反應爐前的製造過程，從鈾的開採、加工處理、轉化、濃縮至燃料元件（燃料束）的製造等；後段則指的是從反應爐卸載下來的用過核燃料的處理與處置，即用過核燃料的中期貯存，以及之後用過核燃料的再處理與放射性廢棄物的最終處置等。但是，並不是每個國家都有用過核燃料再處理這個選項，如我國等，核燃料循環也因此分成「開放式燃料循環」以及「封閉式燃料循環」。開放式燃料循環指的是核燃料在發電後不會進行再處理，而是直接進入最終處置的步驟；封閉式核燃料循環的用過核燃料則是經由短期貯存後進行再處理，將其中還可以使用的鈾與鈽提煉出來，重新製成如混合氧化燃料（MOX Fuel）等的核燃料供核電廠再次使用，並安全貯存再處理過程中所生產的分裂產物，完成核燃料的整個循環。

採用「封閉式」燃料循環的法國，在後段方面的設施擁有 1 座再處理廠阿格（La Hague）、1 座鈾鈽混合氧化燃料製造廠梅洛（Melox）、3 座近地表的中低放射性廢棄物



▲法國採用的封閉式核燃料循環（圖片來源：La Radioactivité）



▲用過核子燃料中有 96%（95%為鈾以及 1%的鈽）的物質可以回收再利用，剩下的 4%則為分裂產物，與燃料元件中的金屬部分相同（藍色處），無法再次使用（圖片來源：AREVA）。

處置場，以及一個地下實驗室（Cigeo 深層地質處置場計畫）。本文這次將針對再處理廠阿格作較詳細的介紹。

法國在 2006 年決定採用再處理的封閉核燃料循環主要是考量到能源與環境，因為用過核燃料經由再處理過程後可以回收其中 96%的物質，分別為 95%的鈾以及 1%的鈽，剩餘的 4%的分裂產物則被歸類為高放射性廢棄物，需以深層地質處置的方式來貯存，而燃料元件中的金屬部分也屬於無法再次使用的高放射性廢棄物。

阿格再處理廠

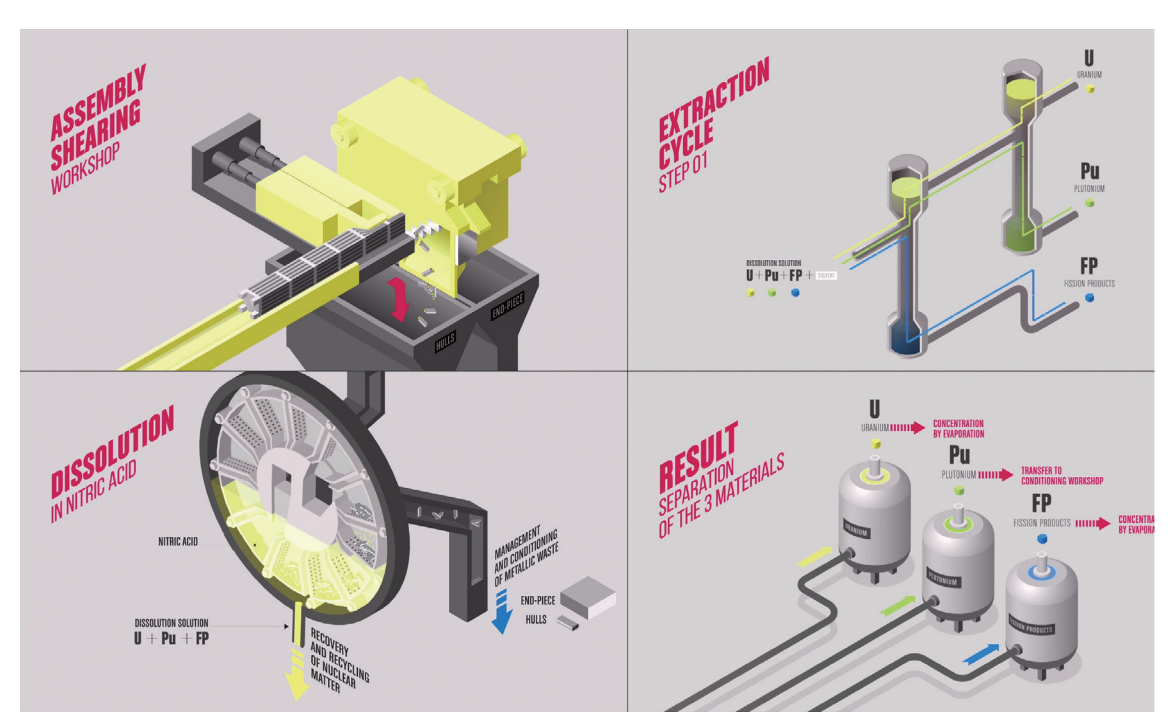
由法國亞瑞華公司（AREVA）負責營運的阿格再處理廠，位在法國西北部，建於 1966 年，占地 300 公頃，內有 5,000 名員工。阿格再處理廠的主要業務有兩項，分別為用過核燃料元件的回收以及廠內所產生的放射性廢棄物的管理。

目前，阿格再處理廠內有兩部再處理設施 UP3 以及 UP2-800，分別自 1990 及 1994 年開始商轉，年處理能力高達 1,700 噸用過核燃料（4,500 億度的電力），相當於 80-100 座核電廠所生產用過核燃料的數量。而廠內首座、於 1966 年即開始運轉的再處理設施 UP2-400 已停止運轉，目前正在進行除役作業。

用過核燃料元件會以特殊的運輸護箱裝箱、自核電廠運送至阿格再處理廠，廠區在接收護箱後會以遠端遙控的方式將燃料元件自其中取出，經冷卻過程後才會貯存於廠內 9 公尺深的用過核燃料儲存池，待部分的放射性自行衰退。廠內一共有 4 座連通的用過核燃料池，總儲存量超過 17,000 噸，這幾座燃料池也與兩座再處理設施相連，確保儲存於池內的用過核燃料元件可從水下轉移至再處理設施，無輻射外洩的風險。

用過核燃料在池中經過 3-5 年的濕式貯存後即可開始再處理的環節，首先是燃料元件的切割，將不可回收的金屬底部先切除，然後再將裡面的燃料棒裁切成小塊混入硝酸中溶解，此舉也會將無法溶解的金屬燃料護套過濾出來，這些燃料護套與先前切除的燃料元件底部相同，均為不可回收再使用的金屬廢棄物。

而含有自核燃料溶解出來的鈾、鈽、分裂產物，以及混有硝酸的溶解溶液，由於其中



▲用過核燃料元件在經由裁切（左上圖）、使用硝酸溶解後將燃料護套濾出，護套與燃料元件底部均屬於不可回收的金屬廢棄物（左下圖），至於溶解溶液中則含有可回收的鈾與鈽與不可回收的分裂產物，需分成兩個階段將這 3 種物質自溶液中萃取出來（右上圖），並分別貯存（右下圖）（圖片來源：AREVA）。

的分裂產物無法再製成核燃料，必須混入煤油成分的溶劑，把分裂產物從溶液中抽出，這即是溶解溶液「萃取」程序的第一個階段；第二個階段則是把鈽、鈾陸續從剩下溶液中分別萃取出來，與第一階段所抽取出來的分裂產物，各別安全貯存。

經由上述萃取過程並處於安全貯存狀態的 3 種物質，其中的鈾溶劑經過純化等一系列程序，轉換成液態的硝酸鈾後會先存於儲存槽中，之後再運送至鈾濃縮廠將其濃度提升至發電等級，才可重新製成核燃料。至於含有非常大能量的鈽溶劑，在經過純化過程後狀態會從液態硝酸鈽轉換成固態粉狀的氧化鈽，放入外覆兩層保護、內部真空的特殊不銹鋼容器中貯存，之後再送至位於法國東南方的梅洛燃料製造廠，重新製造鈾鈽混合氧化燃料元件。根據我國原子能委員會資料顯示，法國 58 部核電機組中有 20 部可使用混合氧化物燃料，另有 8 部在稍作改良後也可使用這種燃料發電。

第 3 種的分裂產物廢液，由於分裂產物幾乎吸收了用過核燃料中全部的放射性，因此被歸類為高放射性廢棄物。分裂產物廢液在經過加熱濃縮、計算比例、鍛燒熱解後所形成的鈣石塊會混入條狀玻璃基材，在溫度高達攝氏 1,100 度的熔爐中進行熔合，再裝入 175 公升的特殊不鏽鋼容器中冷卻、固化。待完成焊接封口後會對容器進行清洗、檢測，確保無輻射外洩可能，才會送至廠內的儲存窖進行暫時儲存。利用玻璃固化的方式可使分裂產物的狀態穩定，以利長達數千年貯存、處置作業的進

行。

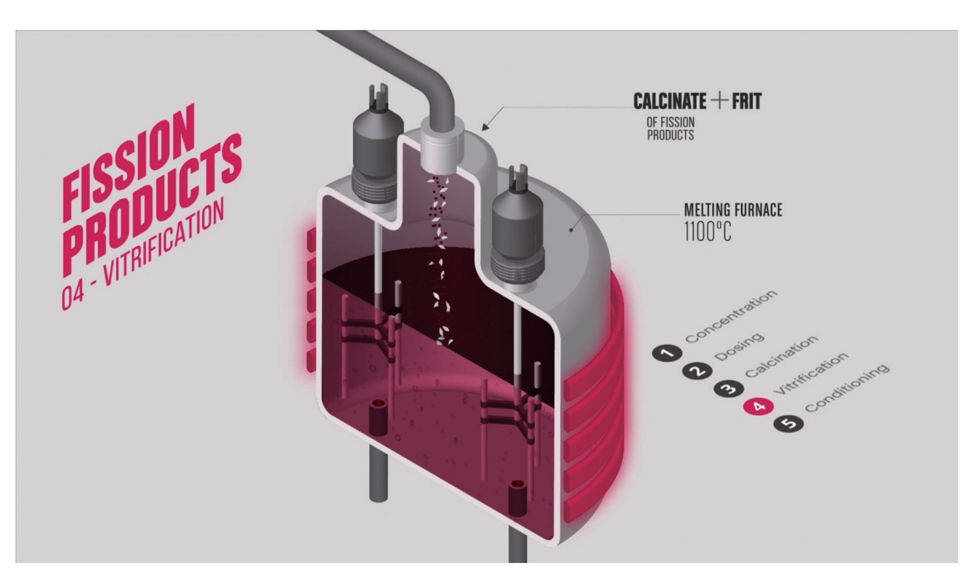
另外，自用過核燃料元件裁切、過濾出來的金屬底部與燃料護套，經過沖洗後裝入不鏽鋼容器內，使用 2,500 噸重的壓力將其壓縮成圓餅狀，再裝入不鏽鋼貯存容器中封口，檢測無輻射外洩後才可送至貯存設施進行貯存。裝箱與壓縮的過程均全程自動化，只需要 12 分鐘即可完成一次循環。

阿格再處理廠用來裝置玻璃固化體與金屬廢棄物的不鏽鋼容器（簡稱鋼筒）為亞瑞華公司自行設計，規格已國際標準化，直徑與高度分別約是 0.5 公尺與 1.35 公尺。完成廢棄物包裝與檢測的鋼筒會轉移至廠區內建的「窖式放射性廢棄物貯存設施」，利用自然通風冷卻的原理安全地進行廢棄物的中期貯存，工作人員也可直接站立於設施上方，僅需穿著基本工作服裝，無需採取任何特殊的防護措施。這些不鏽鋼筒最終將送至法國高放射性廢棄物深層地質處置場作最終處置。

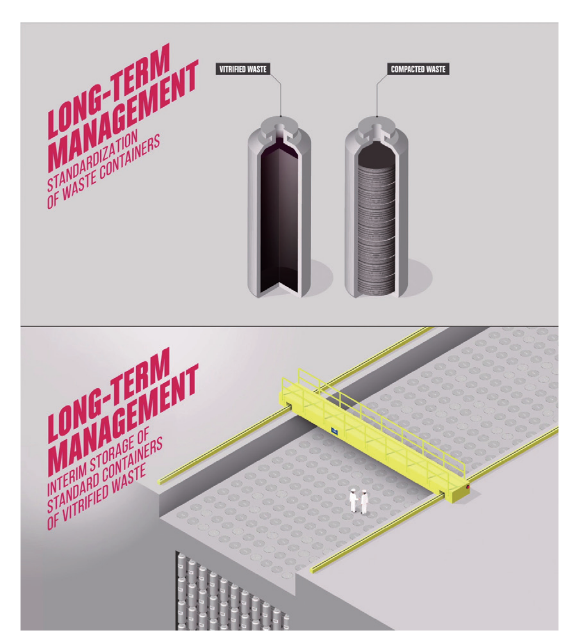
至於由他國送至法國進行再處理的用過核燃料，依據法國核子法規必須送回原用過核燃料之國家，目前全球有超過 75%的用過核燃料是送至阿格再處理廠進行再處理，除了法國電力公司（EDF）於法國各核能電廠所卸下的用過核燃料之外，還有來自日本、德國、瑞士、荷蘭、義大利、西班牙、比利時等國家的用過核燃料。根據亞瑞華的數據，目前已有 33,000 噸來自其他國家的用過核燃料在阿格完成再處理作業。

法國每年自國內核電廠卸下的用過核燃料就有約 1,150 噸，其中有 850 噸會進行再處理，所產生的鈽可製成約 100 噸的混合氧化燃料，法國也因此有近 1/5 的電力是來自於再循環燃料。亞瑞華預估，全球用過核燃料的數量到 2030 年時將比現在多出許多，採用核燃料循環將可確保核能持續增長。

而為了安全、順利的進行用過核燃料再處理，亞瑞華當初在做廠址篩選時所考量到的因素包含了廠址交通、地震與地質、氣象、該區域人口與環境、周邊工業設置情形、海平



▲將玻璃條基材混入分裂產物在鍛燒後所剩下的鈣石塊，在溫度高達攝氏 1,100 度的熔爐中進行熔合，裝罐後製成玻璃固化體（圖片來源：AREVA）。



▲裝有玻璃固化廢棄物與壓縮金屬組件廢棄物的不鏽鋼罐均被安全貯存在廠內貯存窖中（圖片來源：AREVA）。

面與水流管理等條件，確保廠址擁有足夠的安全性來執行再處理。在廠內也執行 24 小時的安全管理與定期的安全分析，工作人員的健康均受到保護與監控；周遭環境的監測範圍則涵蓋了大氣、土地（地表水、草、牛奶等）與海洋（海岸水質、水藻、貝類、魚類等），每年自行進行約 20,000 份的取樣與 70,000 份的分析，嚴守法規標準。依據亞瑞華的數據顯示，工廠的輻射劑量比大自然的背景值低了 100 倍，沒有任何健康上的影響，廠內工作人員與周圍居民都可安全的在此處工作與居住。

在公眾溝通方面，除了請本地委員會向民眾提供正確的訊息之外，阿格再處理廠也開放讓民眾參觀，甚至是邀請記者來參訪，以避免錯誤資訊的報導與傳播。資訊透明、工作機會多，加上來自亞瑞華繳交的稅收與向地方的採購等的資金帶動地方經濟的發展，以及協助當地教育系統的提升等，2007 年阿格再處理廠當地人口的成長率達到法國平均水平的兩倍，廠內的員工人數也逐年攀升，至今已有 4,000 位的全職員工以及 1,000 位的約聘人力。

然而，近幾年卻有媒體報導顯示，因受到日本福島事故的影響，阿格再處理廠的國際客戶正逐漸減少，而且他最好的合作夥伴—法國電力公司也不斷的在再處理方面向其壓低價格，加上芬蘭歐基盧歐圖（Olkiluoto）3 號機的建設工程不斷落後，各種原因導致身為法國國營企業的亞瑞華陷入財政危機。根據亞瑞華 2014 年的財務報告顯示，在燃料循環後段方

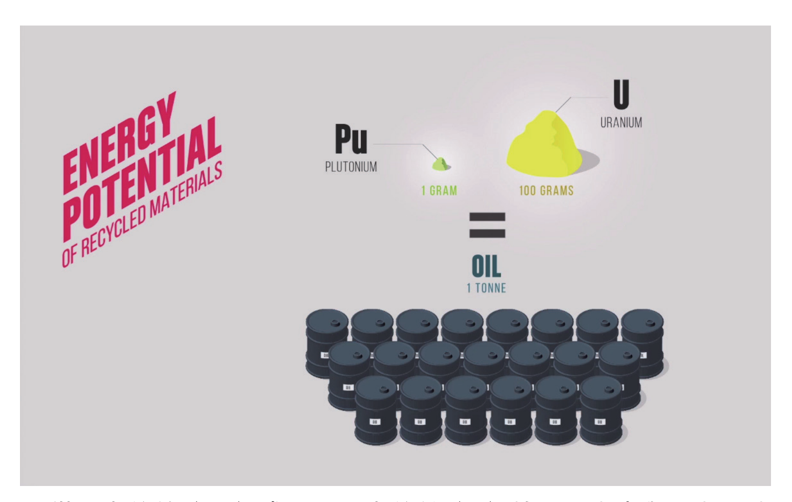
阿格再處理廠選址準則

廠址交通條件	公路、鐵路、海運…
地震與地質	地震震度小且地層穩定
氣象	海洋氣候，整年有降雨 有洋流、風，溫差小
人口與環境	人口密度低、供水便利
工業設置情形	無特殊工業危險（周邊工業活動少）
海平面與水流管理	無海嘯風險 地面水文與地下水的監測與恢復

資料來源：AREVA

面的收入比 2004 年之前少了近 5 億歐元，這僅是後端業務方面的虧損，亞瑞華隨後在 2015 年初時宣布阿格將裁員 150 人，並將未來 5 年的營運成本下修了 15%。

幾乎每條產線都面臨到虧損，導致法國政府決定讓法國電力公司收購亞瑞華的反應爐業務，亞瑞華則可把重心放到燃料循環的前段與後段。除了法國電力公司，拯救亞瑞華的另一個關鍵則是來自中國的核工業。由於核電在中國不斷的擴大營運，雖然中國中核集團已經擁有整套的核燃料循環體系，但中國看到的是亞瑞華燃料循環後段的技術。中核集團表示，目前中核集團所擁有的還不算足夠，仍需要建立一座大型、常年運轉的再處理廠，引進對方的技術與自行研發的結果進行結合，而最好的選擇即是亞瑞華。雙方也於 2012 年 4 月簽屬了備忘錄，亞瑞華將在中國建立一座處理能力每年 800 噸的再處理廠，而該座再處理廠將依照阿格的工程設計、設備製造以及營運經驗與技術等來建造。



▲僅 1 克的鈽（Pu）或是 100 克的鈾（U）就可以生產與 1 噸石油（Oil）相同的能量（圖片來源：AREVA）

結語

自核電廠退出的用過核燃料元件，每 8 束在經過再循環後就可以生產 1 束由再循環鈾（ERU）所組成的燃料元件以及 1 束由鈾與鈽組成的混核氧化燃料元件，而僅 1 克的鈽或 100 克的鈾就可以產生由 1 噸石油所生產的能量。因此法國認為，採用再循環除了可節省 25%的天然鈾資源，也可節省其他的替代能源，是節約能源的有效途徑。另外，利用再循環還可以使最終放射性廢棄物的數量減少 5 倍，廢棄物的毒性則可減少 10 倍，將廢棄物的體積與毒性最小化。也因為這些原因，亞瑞華深信再循環是一種可持續且負責任的用過核燃料管理模式，透過這項技術除了可回收用過核燃料中所含有的可利用物質來製造新的核燃料之外，還能以安全、穩定的方式處理無法回收再使用的放射性廢棄物，減少後代子孫的負擔。❂

資料來源：

1. AREVA. “Recycling Used Fuel From Reactors.”
2. AREVA. “2017 AREVA La Hague (Video)”
3. AREVA《阿海琺集團後端業務介紹》
4. AREVA《阿格廠與梅洛廠經驗分享》
5. 行政院原子能委員會《國外用過核子燃料再處理設施簡介》
6. 能源雜誌《深陷財務困境的阿海琺，誰能成為他的拯救者？》

核電廠除役的**決策考量**

文・洪國鈞

核電廠除役的主要目標是為了降低事故風險，使得安全面與經濟面能夠取得最佳的平衡，獲得最大的淨利。為了達到這個目標，有許多層面在核電廠除役計畫中需要考量，本文提供除役管理上的決策考量建議。

除役策略

除役計畫在核電廠興建之初與運轉期間便已經開始並持續，倘若一座核電廠在最終停機前沒有準備好除役的相關作業，其除役工作很有可能會無限期的拖延。隨著計畫目標的不同，需要的相關配套也不盡相同。然而一些除役策略中的方針，即使除役目標有所不同也成立，那就是除役工作必須依賴技術、安全、經費與政策上的支持與配合。

在技術上，除役計畫中應避免使用不經濟與不成熟的技術，除非是該技術能提供比較高的價值，或是能夠符合可預期會採用的新標準，而使用這樣的技術，足以彌補相關的損失。此外，定義除役階段與目標，將有助於定義除役的時程與程序，當這些因素都納入考量時，才能進行財務上較精確的估算。而除役的安全主要是建立在放射性物質與危險物質的掌控上，相對而言，降低輻射曝露就是降低損失；而國家政策的改變也會造成電廠經營者的衝擊，因為法規的變動與相關的要求，可能會造成電廠經營者的負擔。因此，除役策略應在技術、安全、經費與政策中尋找最佳的方針，以達到最大的淨利益為目的。

安全策略

在除役計畫中，保護工作人員、大眾與環境是組織與管理上最重要的一環，為了達到在計畫期間的安全標準，安全上的相關文件應允許被檢驗，這樣可以確保安全文件是否精確與正確地反應除役狀態。附帶說明的是，安全標準是需要經過正當化程序才得以成立。

電廠經營者基於安全標準應該提供健康與安全上的諮詢，經由紀錄結果，電廠經營者可以追加監督、查察與監測的作業，以確保安全。而為了保護工作人員、大眾與環境，除役作業的安全要求不會比運轉時來的寬鬆。

除役人員的進用

在除役過程中，無可避免的需要進用人員，而優先進用的人員，應當具有電廠經營者所能提供的人力資源以外的專業技能；另外，維持較高比例的運轉人員對於除役工作而言是必要的，他們可以提供相關的訓練，使新進人員能夠快速熟悉電廠的相關作業，同時也較能維持團隊的士氣。

此外，非技術性員工應以當地能提供的勞動力為優先，這樣可以避免對除役作業產生負面影響的事件發生。同時，為了協助除役工作的完成，可由其他電廠或是類似組織，募集具有特殊技能與除役經驗的人員參與，藉以達

成經驗的交流與傳承，最具效率達成上述目標的莫過於承包商。

激勵進用人員（或承包商），在除役計畫中得到預期的工作效率與品質是重要的，然而不能因為過分追求效率而忽略安全。這些激勵隨著情況的不同而有所改變，目的是為了鼓勵工作人員能夠達成工作目標，而避免發生拖延的情形。

當雇用承包商時，電廠經營者應隨時監督承包商，確認他們是否合乎包含品質、經驗與安全的相關規範，同時，針對惡意的承包商有必要設置懲罰性條款與措施。

除役準備

核電廠最終停機以前，不需要大規模或是全時間的投入除役準備工作，除役主要的考量應放在廢棄物管理、經費評估與執照取得，可能需要技術專家、熟悉電廠運轉人員與具有系統計畫長才的人參與協助。

除役計畫的準備雖然很重要，但並不緊急，因此運轉相關的問題比除役的準備工作更為優先，除役團隊的成員可以由運轉團隊中移轉過來，而在面臨不同的問題時，也可以更換成員。對於電廠經營者而言，這樣的支援會比較合乎經濟效益，同時也可以培訓運轉人員成為除役團隊的監督者。

而對於除役準備工作的報告來說，可以敦請並非擔任核電廠全時工作的成員來撰寫，當然，針對團隊的主要工作須衡量經費與風險上能獲得最大淨利為優先。可能的話，應在最節省成本的情形下獲得最多的資訊，此時，較小與較彈性的組織規模比較起專案處理除役作業的組織要更合適。

一個簡單的除役準備團隊組織圖如圖 1 所示。當核電廠的除役計畫被確定之後，應該開始招募除役計畫管理者（Decommission Project Manager，DPM），而一個 DPM 除了要具備足夠的技術、專業知識、證照之外，他還要獲得充分的授權，使除役工作得以在 DPM 的掌控之下，這包含除役計畫相關的發展與資源的掌控等。因此一個 DPM 需要有足夠的經驗，並通過相關的資格審查。

電廠經營交接

在除役計畫的進行中，電廠經營上的交接應在除役計畫展開之後，而管理結構的變更將會對除役工作帶來影響。

合適的交接時間是在反應爐最終停機之後，在此期間，運轉團隊可以將危險物質移除，並暫時性妥善處理，等待除役團隊的接手。需移除的危險物質包含用過核燃料、運轉廢棄物與集水系統的廢棄物；此時，運轉團隊的執照應准予延長，甚至延續到除役工作展開之後，確保相關作業可以妥善的完成。而在電

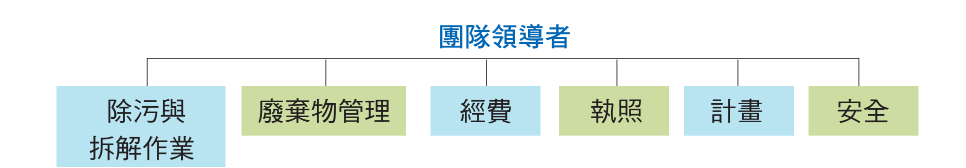


圖 1. 除役準備團隊組織

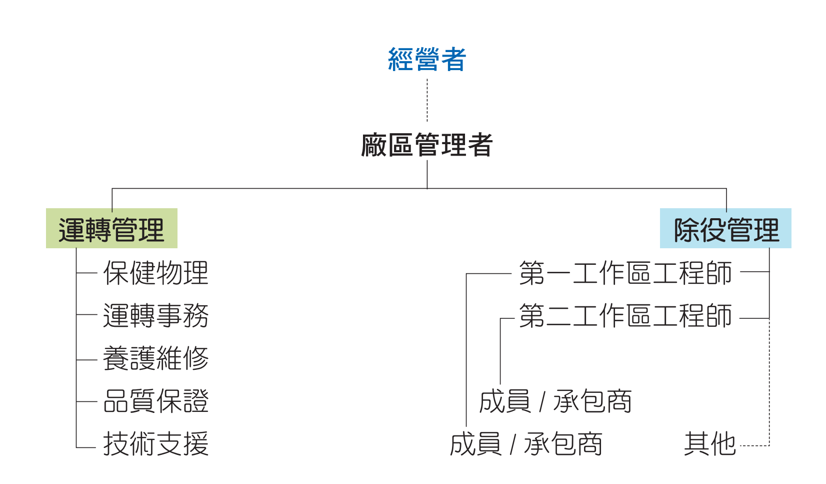


圖 2. 電廠經營上的交接協調

廠經營交接的過程中，有些管理風格與文化可能會大不相同，相關的比較詳列於表 1。

在某些例子中，因為商業的因素使得電廠在運轉年限內更換了經營者，此時新的電廠經營者將要接手除役的作業，雖然新的單位可能會面臨重新學習除役工作的挑戰，此時新的電廠經營者應儘速的適應相關工作，當然，除役工作的方針可能也會有所不同，包含組織架構、組織成員、承包商都可能會有所變更，此時主管單位應隨時監控，並提供相關協助。

在交接期間電廠運轉、養護維修與緊急計畫仍應保有其功能，雙方應共推一位廠區管理者，協調運轉管理與除役管理之間的事務，是互助而非相互干擾，電廠經營上的交接協調如圖 2 所示。

責任

當核電廠準備停止服務之後，相關責任

表 1. 除役與運轉的差異

除役	運轉
結構的設計為了輔助除役，多為暫時性的設計	結構的設計是為了長期的運轉
安全系統是基於除役作業的需求	安全系統是基於運轉上的需求
安全上的風險是逐漸降低的，除非狀況有所改變	安全上的風險是持續性的
管理方針隨著除役階段而有所不同	管理方針以穩定運轉為主
逐漸減少控制的設施	持續維持控制的設施
新的作業展開進行新的訓練	持續性的訓練並且重新考核
工作人員可以重新審視工作目標	工作人員延續既往的工作目標
需要發展新的規範	規範已經建立與發展完成

可能會移轉到不同的單位，但也有可能是由運轉團隊組織成為除役團隊。後者可能對於除役電廠的狀況較為瞭解，使得除役工作更有效率，運轉相關記錄的移交可能也較為容易。然而除役作業會牽涉到多個不同的組織，包含了承包商與再承包商。因此，各單位之間的除役責任須事先界定清楚，以避免不必要的爭訟。

此外，電廠經營者有責任為大眾提供除役計畫資訊的諮詢。

安全場區

安全場區的目的是為了使危險物質在完善的監督與養護下得到管制與貯存。安全場區的設置可以依賴簡單的工程設施達成，同時安全場區的維持也應盡量的簡化，使人力的配置能達到最佳的效能。

安全場區的組織必須能夠維持長期的穩定性，因此最佳的狀況是，安全場區的監控可以利用儀控設施，甚至可以進行多個安全場區的監控，在運用最少的人力下完成。隨著時間的遞移，安全場區的相關防護措施可以逐漸的減少，最終，甚至連近場的環境監測設施也可以逐漸撤除。

安全場區組織的簡單結構如圖 3 所示。

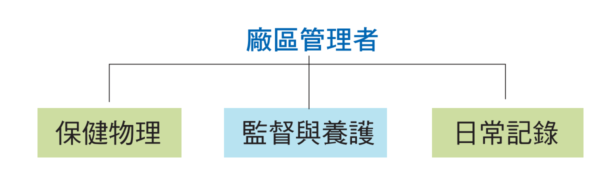


圖 3. 安全場區的組織結構

除役後廠址的復育

除役計畫的最後階段，最重要的便是廠址復育，使土地得以不受限制的使用。因此確認除役廠址的復育與相關廢棄物的清理，是管制單位及其授權機構的責任，在必要的狀況下，權責單位得持續性的監督調查，以確認除役工作是否達到相關要求。此外，主管單位也有責任確保除役相關記錄的完整性。

主管機關應制訂廠址復育與再利用的相關依據與法源，依據的內容可包括放射性物質與非放射性危險物質的清運程度，以及景觀上的要求等。

當除役團隊完成除役作業後，相關的紀錄與報告應妥善保存，這是為了經驗與知識的延續，此外也可以提供相關的資料以備諮詢。

用過核燃料與廢棄物貯存

用過核燃料與部分的除役廢棄物會被貯存在廠區的獨立設施中，對電廠經營者來說，管理這些廢棄物與用過核燃料的貯存有充分的經驗，同時也有責任對該設施付出長時間的養護、監督、警戒與關心。

（本文作者為台電公司核能工程師）

參考資料：

1. 國際原子能總署（International Atomic Energy Agency，IAEA）Organization and Management for Decommission of Large Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 399, IAEA, Vienna（2000）
2. Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety Standards Series No. WS-G-2.1, IAEA, Vienna（1999）

另類途徑　打破核廢迷思

譯・劉振乾

全球性的課題 透過影像喚起人們注意

「數位好萊塢地球計畫 2017（Digital Hollywood Earth Project 2017）」以撼動人心的創造性力量，讓人大開眼界，注意到全球性的課題，以及存在於跨世代之間的問題，發表會於 2017 年 7 月 12 日舉行。每一件作品都發出讓人產生共鳴的訊息，會場被一股昂揚的力量包圍著，同時也向解決問題邁出了一大步。

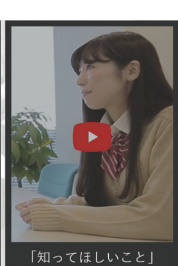
如何擴大對高放射性廢棄物處置問題的認知

「數位好萊塢大學」位於日本東京都千代田區，從 2012 年開始實施「地球計畫（Earth Project）」，在大學部、研究所中培育資訊技術與數位人才，試圖描繪地球未來的情景 。本屆獲得日本原子力發電環境整備機構（NUMO）的協助，將課題訂為「如何擴大對高放射性廢棄物處置問題的認知」。參加的 5 隊對於這個非常重要但是平常很少注意的課題，想盡方法製作出能讓人心動的作品。學生們從各式各樣的視角來探討課題，展現出多彩多姿的創造力，讓會場氣氛活潑到極點。

兩個孩子的媽媽也是社會人士的學生認為，「想把沉重無比的課題融入到生活中」，將生活中產生的垃圾與高放廢棄物都化身為可愛的動畫。擔任客座審查員的大東 MEGUMI 小姐評論：「以媽媽的眼光、充滿笑容的表現來處理容易情緒化的問題，創造出讓很多人願







▲參賽的優秀作品（http://www.sankei.com/special/numo2016/）

意思考的契機。」

有一隊的成員是 3 位大三與 1 位大一學生，藉著舞蹈與樂團追夢的年輕人，「與其直接傳達問題，不如用自己思考來切入。」客座審查員坪井安奈小姐對此評論：「把不是身邊的問題當做自己的事情來思考」。

一組由大三生組成的團隊，把高放射性廢棄物擬人化為「核的化身」，作品設定為從東京郊外的咖啡廳直播，非常真實的年輕人看法，逗得現場哄堂大笑。

另一隊是研究生加上來自韓國的留學生，運用海報以及電子看板在校園裡進行公眾溝通。「具有故事性，會讓人想看下去的作品」，可愛的主角開始挖洞，挖到地底深處而做地質處置的 3 張海報，每週換一張，成為校園裡的話題。

獲得最優秀獎的作品，是以淺顯的方式介紹地質處置的程序與必要性，最後播放出看過這些影像的年輕女性觀點，透過他的話語引導出視聽者的思考反省，而獲得最高評價。

擔任審查委員長的數位好萊塢大學校長杉山知之說：「這次是很寶貴的機會，讓年輕一代能關注社會的重大議題。」杉山校長也說：「自己思考必須承擔的課題，並且付之行動的經驗，藉著數位媒體讓人與人溝通，也就是邁向更美好未來的第一步。」對於會場裡各式各樣的表現，讓他有非常充實、深刻的體會。

最優秀作品

最優秀作品得獎者都是大三的學生，分別是：三代飛翔、吉兼尚聰、吉原茂希。

• 作品概要

使用電腦圖解法（computer graphics）將日本的現狀與最終處置的過程，以滑稽又有趣的方式加以介紹。最後還讓觀看影像的年輕女性說出：「總會想出辦法吧」，突顯大多數人冷漠的程度，進而讓視聽者體會自己才是問題的當事人。

• 作者自評

將核能發電從基本的 ABC 開始學起，一邊訪問原子力發電環境整備機構取得當事者的觀點，一邊想辦法將這沉重的課題盡量以柔和的方式表現，思考怎樣才能讓它容易懂。希望讓看到影像的人能夠回到起點，思考自己該如何做？

小辭典：地質處置

是一種管理核能發電所產生的高放射性廢棄物的處置方法，將高放射性廢棄物長時間與生活環境隔離，因此放置在地下 300 公尺深、地質穩定的地層中，等待輻射劑量降低到非常微小的程度。

1976 年日本政府開始研究開發地質處置，於 2000 年依據法律設立的原子力發電環境整備機構（NUMO），負責進行地質處置作業。

• 評審講評

杉山知之校長：「最後讓女性說出似乎能代表日本國民的想法，有震撼力。這是具有客觀的觀點，有衝擊力的作品。」

大東 MEGUMI 小姐：「具有跟你說話的張力，感受到訊息。最後則有讓你思之再三的發問，很想看續集。」

坪井安奈小姐：「能感受到製作此作品的創意，不是從上也不是從下，而是從恰到好處的位置將訊息傳遞出來。」

專訪數位好萊塢大學杉山知之校長

用各種辦法讓人明瞭很困難的問題，是很快樂的事。這不是自我滿足，而是與人有聯繫才是重要的。杉山校長說：「數位內涵是聯繫人與人的媒體。」

將艱難的課題以淺顯易懂的方式傳播出去，正是數位媒體所擁有的可能性。現在這種時代，只要有點子與概念就能製作出品質很高的作品。有網際網路，有動畫的投稿網站，有發表與擴散的平台，就可以有夢想。當你有了有趣的、能夠觸動人心的想法，就可以無限擴散。

從今而後，人工智慧與機器人都可勝任很多工作，那麼，什麼是「人」做的事？我想，人的心只能靠人才會感動。能做讓人感動、觸及心弦的事，還是要靠人。

藉著邏輯的說明與合理的數字，人還是不會說「我全懂了」。必須思考人與人如何有更進一步的了解？有沒有一件東西能獲得所有人同意並且支持？即使如此，人還是可以在某些地方取得共識。在這次的比賽過程中，學生們發揮的創造力是最珍貴的部分。祈願藉著表現與傳遞某些東西，可以邁向更美好的未來。

資料來源：
2017/7/26 日本產經新聞，產經編輯中心

新書介紹——福島事故後台日能源政策的轉變與核能合作

文・編輯室

福島第一核電廠事故不僅對日本國內、對國際社會也產生重大影響，其中對近鄰的台灣影響更是鉅大。事故當時國民黨政權的馬總統改變能源政策，停止推動核能，此後 2016 年 1 月在總統選舉取得勝利的蔡總統將非核的方針明確化，決定將台灣現有的 6 部核電機組在運轉 40 年後除役，並停止興建中 2 部機組的建設工程。

收錄台日核能交流論文 由熟知日本的專家編輯

本書編者謝牧謙為東北大學工學博士，專業為核能化工學，長期致力於台日核能交流至今，也有很多日本知己。本叢書編輯部鑑於福島事故，重新回顧台日核能安全合作的歷史，並聚焦於審視今後台日核能合作的應有作法，在企劃 2015 年 1 月號以「台日核能安全合作」為主題的特集時曾籲請謝博士協助，當時獲得快速允諾，使該特集得以實現。

本書即以該特集所刊載的日方 3 篇、台方 4 篇論文為主，同時編輯收錄 2014 年於台北舉行的「從人文學觀點看永續能源」研討會所發表的論文等合計 16 篇。

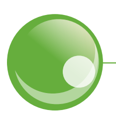
針對福島事故前後台日能源政策、台日核能交流實績、台日今後核能合作應有的作法，以及從人文學觀點審視能源問題等均有詳細論述。

本書強化台日雙方的理解、促進今後在能源、核能領域的合作得以順利進行，相當具有啟發性。

此日本學研究叢書係以國立台灣大學人文社會高等研究所開設日本、韓國研究平台為契機，於 2012 年創刊，本書為第 23 冊，該叢書為台灣惟一以日文撰寫的學術研究叢書。

有關本書連絡、取得的窗口為國立台灣大學日本研究中心林佳辰（e-mail: jiachenlin@ntu.edu.tw），定價新台幣 760 元（約 3,000 日圓），另加航空郵寄費日幣 1,000 圓。

日本學研究叢書 23
福島事故後台日能源政策的轉變與核能合作
謝牧謙・石門環 編
國立台灣大學出版中心
新台幣 760 元





專家推薦

謝牧謙教授和石門環先生編集的「福島事故後台日能源政策的轉變與核能合作」，由台灣大學出版中心出版，內容涵蓋了所有能源來源優缺點的綜合評估。目前全世界的主要能源是（1）化石燃料：石油、天然氣、煤炭，（2）再生能源：太陽能、風力、地熱，（3）核能，（4）其他：氫氣等。以上能源必須符合能源安全保障（Energy Security）、經濟效率（Economic Efficiency）、環境適合（Environment），也就是「3E」。核能事故發生後更強調安全（Safety）的重要性，因此發展能源政策最重要的根本是「3E+S」。

考慮到能源安全保障，過度使用化石燃料會產生對化石燃料與石油的依存度、以及對原油輸出和產油國的依賴性，必須考量能源自給和能源輸入占 GDP 的比例。經濟效率方面，電價對產業和家庭生計的影響，以及溫室效應對氣候和環境的衝擊。

核能安全是能源政策的考量因素之一，也必須充分的思考 3E+S 的重要性，綜合國家發展的宏觀經濟，制定國家長遠的能源基礎政策。本書為日文版，綜合敘述台灣能源政策的基本構想，內容紮實，論點深且廣，是一本討論能源基本政策的佳作，謹此推薦予本刊讀者。

——清華大學原子科學系榮譽退休教授

朱鐵吉

日本政府擬定福島一廠中長期除役計畫

文・編輯室


▲福島第一核電廠防制污水的凍土壁施工情形

9 月 1 日，日本政府處理福島第一核電廠除役的核心小組，提出了中長期除役時間表（roadmap）的修訂草案，上一次修訂的時間是在 2015 年 6 月。

這次修訂的內容，預期將不會修改整體除役作業的架構，誠如 2011 年 12 月的一份報告所述，在完成時間表中的步驟 2 之後大約 30-40 年內可完成除役。

在進行了精確的檢查之後，除役時間表將納入各項措施與活動的目標時間表，以進行各個工作項目的考量，例如：（a）自上次修訂以來的進展情況，（b）目前的狀況，（c）核子損害賠償與除役促進公司（Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation, NDF）針對清除核燃料殘渣方法的可行性評估。經過修訂後的時間表將在部際委員會中正式確定，以便進行後續污水處理與除役工作。

對於清除核燃料殘渣，將採取循序漸進的做法再逐步的擴大工作。根據 NDF 公司的技術建議，初期將採用不覆蓋（uncovered）的清除方法，而不是以水覆蓋（water-covered）的方式移除。

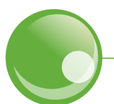
首先，一次圍阻體容器（PCV）底部的核燃料殘渣將從 PCV 的側面移除。由於還存在著許多不確定因素，未來將根據經驗和新的資訊來修訂時間表。例如，可以重新考慮水覆蓋去除法的屏蔽效應（NDF 公司已評估完成），根據時間表所顯示的目標是 2021 年開始移除 1 號機的核燃料殘渣。

同時，將實施污水防治措施，基本方針是要先消除污染源，將地下水與污染源隔離，並防止污水的滲漏。目標是在 2020 年時將反應爐建築物下聚積的污水全部處理完畢。

關於 1 號至 3 號機燃料池內燃料移除的時間表，將根據現場工作的即時狀況加以修訂，目前正在思考每個反應爐開始和完成的時間。

資料來源：

http://www.jaif.or.jp/en/government-team-releases-draft-revisions-to-mid-to-long-term-decommissioning-roadmap-for-fukushima-daiichi-npps/



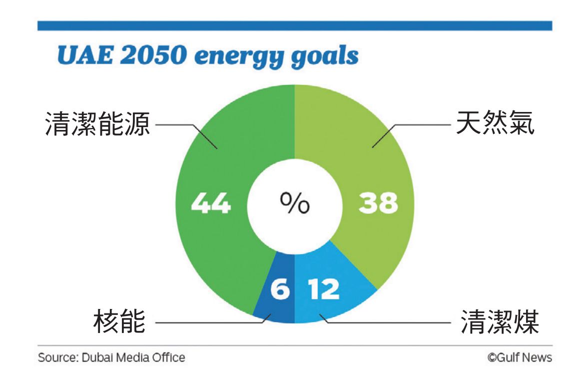

阿拉伯聯合大公國啟動 2050 年能源計畫

文・編輯室

阿拉伯聯合大公國（UAE）副總統兼總理兼迪拜統治者謝赫・穆罕默德・本・拉希德・阿勒馬克圖姆宣布啟動阿拉伯聯合大公國 2050 年能源計畫。

2050 年能源計畫希望在能源生產與消費之間取得平衡，新戰略將刺激經濟成長和儲能設備的投資，也將有助於國家履行國際環境的承諾。本計畫由能源部與內閣事務和未來部（Ministry of Cabinet Affairs and the Future）合作舉辦。

這項計畫可使清潔能源的貢獻提高一倍，並將住宅和建築物的能源消費率降低 40%，改善阿拉伯聯合大公國社區能源消費文化的品質，實現能源多元化。阿拉伯聯合大公國的能源結構將包括清潔煤、天然氣、核能、太陽能、風力發電以及生質燃料。該策略的目標是投資 6,000 億迪拉姆（約 5 兆新台幣），以滿足能源需求，確保阿拉伯聯合大公國經濟可持續的成長，還可節省 7,000 億迪拉姆。



▲ 阿拉伯聯合大公國 2050 年能源配比目標

2050 年能源計畫的能源配比的目標如下：44%的清潔能源、38%的天然氣、12%的清潔煤和 6%的核能。

此能源策略將刺激經濟成長和鼓勵能源儲存的投資，且有助於降低能耗，這意味著阿拉伯聯合大公國電力部門的可持續發展進入新的里程碑。本計畫將從一些創新措施開始實施，包括利用海灣合作委員會（Gulf Cooperation Council, GCC）的電網，促進國家和海灣合作委員會兩個層級之間，電力相互輸送的合作。海灣合作委員會電網是海灣國家之間整合最完整的計畫之一。

此能源策略將朝 3 個方向實施，第一個方向著重於快速過渡電力消耗效率，使其來源多元化，並確保其供應安全的措施。第二個方向著重於尋找替代電力和運輸系統的新解決方案。第三個方向是有關研究、開發和創新，以確保能源的可持續性。

資料來源：

http://gulfnews.com/business/sectors/energy/uae-energy-plan-for-2050-to-achieve-balance-between-energy-production-and-consumption-1.1959893

南韓展開古里 1 號機除役計畫

文・編輯室

南韓原子能研究所（Korea Atomic Energy Research Institute，KAERI）與該國國內幾家公司簽訂合約，將共同開發古里（Kori）1 號機的除役技術。該機組已於 6 月份永久關閉，這是南韓第一個進入除役階段的反應爐。

南韓原子能研究所 9 月 4 日表示，已經分別與 Kepco 電廠服務工程公司以及斗山（Doosan）公司簽訂研發拆除設施與儀器設備的技術，以及土地污染測量技術的合約。這些公司還將開發可以模擬拆除電廠、化學除污與放射性廢棄物處理程序等相關技術。

南韓原子能研究所表示，古里 1 號機完成除役所需的 38 個技術中確定已經取得 27 項，其餘 11 項技術也已經處於實驗室驗證的階段，目標是在 2021 年之前獲得完整的除役專業知識。

位於釜山附近的古里核電廠，1 號機於 1978 年開始商業運轉。韓國水力核能電力公司（KHNP）於 2015 年 8 月宣布撤銷該機組延役許可的申請，2016 年 6 月，KHNP 公司申請反應爐除役。2017 年 6 月初，核子安全委員會（NSSC）核准古里 1 號機停機；6 月 18 日，這座 57.6 萬瓩壓水式反應爐永久關閉。KHNP 公司將在 5 年內提交該機組的除役計畫。

古里 1 號機關閉後，韓國還有 24 座反應爐，總發電量為 2,250 萬瓩，提供全國約 1/3 的電力。

6 月 19 日，韓國總統文在寅在慶祝古里 1 號機關閉的儀式上宣稱，他將取消新建核電機組的計畫，現有的核電機組到達設計壽命的運轉年限後也不再延役。因為他擔憂地震對核電廠安全的影響，這是讓他決定逐步廢核的原因。

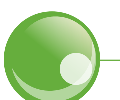
文在寅總統表示，NSSC 於 2016 年 6 月核准興建新古里（Shin Kori）核電廠的 5 號與 6 號機組，針對這兩座機組是否繼續興建他將盡快達成「社會共識」。7 月份這兩座機組的建築工程暫停之前，已經完成了將近 30% 的進度。文在寅總統說，機組的安全性和任何有關賠償的潛在成本，都將考慮在建設的費用內。一個由政府任命的委員會目前正在針對「南韓是否繼續使用核電」進行民意調查。

《韓國先驅報（Korea Herald）》9 月 4 日報導，南韓蓋洛普（Gallup Korea）公司 9 月 1 日的一項民意調查顯示，1,003 人中有 42%贊成興建上述兩座機組，38%反對。

資料來源：

http://www.world-nuclear-news.org/WR-Korea-develops-expertise-for-Kori-1-decommissioning-0409175.html





加拿大完成處置設施環境影響報告的審查

文・編輯室

加拿大核子實驗室（Canadian Nuclear Laboratory, CNL）所提交的在粉筆河（Chalk River）場址設置放射性廢棄物近地表處置設施（NSDF）環境影響報告（EIS）草案，加拿大核子安全委員會（Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC）已經完成審查並做出技術評估。現在加拿大核子實驗室在提交環境影響最終報告之前，必須先處理所有聯邦與公眾關於此計畫的意見。

加拿大核子安全委員會表示，在 EIS 最終報告和其他技術支持文件中已經確定需要再增加「一些區域」的額外資訊。聯邦評議的綜合表，包括加拿大核子安全委員會的評估以及其他參加審查的聯邦官員的評估報告，已經送回加拿大核子實驗室進行後續作業。加拿大核子安全委員會表示，這份評估表洋洋灑灑條列了將近 200 項資訊、要求與評論。

加拿大核子實驗室現在必須先處理這些聯邦和公眾的意見，並向加拿大核子安全委員會提交 EIS 最終報告。然後，管制機構將確認加拿大核子實驗室所提交的資訊是否完整，可能還會要求進一步的資訊。加拿大核子實驗室預計在明年 1 月提交 EIS 最終報告，委員會預計將於明年 7 月針對此計畫舉行公開聽證會。

加拿大核子實驗室今年年初公布了該場址的長期願景，表示近地表處置設施關鍵的第一步，是將粉筆河實驗室場址轉化為世界級的科技創新中心。加拿大的國家研究型通用反應爐將於 2018 年 3 月 31 日運轉屆滿 60 年後關閉，粉筆河實驗室的「復興」，將牽涉到 100 多座已經達到使用壽命的建築物的除役。

近地表處置設施建於粉筆河場址內，專門設計的安全措施，可安全的處置固體低放射性廢棄物和少量中放射性廢棄物。凡是拆廠的放射性廢棄物以及暫時貯存中的放射性廢棄物，還有其他政府部門場址的除役計畫產生的少量放射性廢棄物可在此安全的處置。這裡也接受來自加拿大醫院、大學和工業客戶少量的放射性廢棄物，不超過總量的 5%。這座處置設施可容納 100 萬立方公尺的放射性廢棄物，共有 10 個廢棄物處置室，將分兩個階段建成。

按照計畫，處置設施的運轉壽命至少有 50 年，計畫的內容還包括污水處理廠和配套的基礎設施。包括設計、執照申請和建造近地表處置設施第一期結構的成本，估計約 2.15 億加幣（將近新台幣 54 億元），是由聯邦企業原子能加拿大有限公司（Atomic Energy of Canada Limited）支付。

資料來源：

http://www.world-nuclear-news.org/WR-CNSC-completes-review-of-disposal-facility-draft-EIS-0409177.html

保加利亞開始興建**中低放射性廢棄物處置場**

文・編輯室

保加利亞於8月29日動工興建中、低放射性廢棄物的國家處置場，並為此舉行破土典禮。該處置場位於瑞地安納（Radiana），臨近寇茲斐杜（Kozloduy）核電廠。

保加利亞能源部長佩特科娃（Temenuzhka Petkova）和放射性廢棄物國家企業（State Enterprise Radioactive Waste，SERAW）執行董事彼托夫（Dilyan Petrov）為新設施進行動工的破土儀式。SERAW負責寇茲斐杜核電廠1-4號機的除役和國家放射性廢棄物處置設施的管理工作。

這座處置場將是一個近地表溝槽式設施，具有多重屏障的保護功能，將中、低放射性廢棄物封裝在強化過的鋼筋混凝土罐中。未來將儲存來自工業、醫藥、家庭，以及從寇茲斐杜1-4號機的除役和未來核電廠運轉所產生的放射性廢棄物，但是不會用於儲存高放射性廢棄物或用過核燃料。該處置場的容量可儲存138,200立方公尺的放射性廢棄物，預計於2021年可運轉使用，營運約60年之後，該設施將關閉並嚴密監控300年。

興建工程第一階段的資金是來自由歐洲復興開發銀行所管理的寇茲斐杜國際除役支持基金，提供了7,180萬歐元（約新台幣260億元）的撥款。

處置場的建造是保加利亞加入歐盟時所作承諾的一部分。保加利亞於2007年1月1日加入歐盟，在加入歐盟談判期間，保加利亞還承諾在2002年底之前關閉寇茲斐杜1、2號機，到2006年底將關閉3、4號機。這4個機組都是V-230型VVER-440反應爐，歐洲委員會早先已確認它們都無法改良而必須除役。



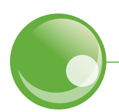
▲ SERAW的執行董事彼托夫（左）和能源部長佩特科娃在處置場破土典禮上致辭（圖片來源：SERAW）

能源部長佩特科娃說：「興建處置場是保加利亞發展核能的王道，這個設施的建設已被納入保加利亞政府2017-2021年期間的現行計畫。」

資料來源：

http://www.world-nuclear-news.org/WR-Construction-of-waste-repository-for-Bulgaria-3008174.html





美國核電機組**相繼挺過颶風侵襲**

文・編輯室



▲美國土耳其角核電廠（圖片：NRC / FPL）

美國本土在 8、9 兩個月內接連遭受兩個強烈颶風侵襲，受災地區的核電機組都安全的挺過了惡劣天候的考驗。

美國的核電廠營運商和核安管制機構已將「風暴準備程序」納入防災行動之中，因此當 5 級颶風艾瑪在佛羅里達州登陸時，土耳其角（Turkey Point）核電廠的 1 座機組採取預防性措施，在風暴來襲之前已先停機；另 1 座機組由於閥門的問題自動停機；而聖露西（St. Lucie）核電廠的兩座機組則是不受影響的持續運轉。

在廣泛且嚴重的肆虐了加勒比地區之後，艾瑪颶風轉而侵襲美國大陸，佛羅里達州的土耳其角和聖露西這兩座核電廠正位於她行進的路徑上。當美國國家氣象局向該地區發出颶風警報之後，佛羅里達電力與照明（Florida Power & Light, FPL）公司於 9 月 7 日發布了土耳其角核電廠「異常警示」，這是美國核能管制委員會（NRC）緊急事件分類中的最低級別；9 月 9 日時，保守性的關閉了這座電廠 2 座反應爐中的 1 座。

隨著艾瑪颶風路徑的改變，土耳其角電廠附近預期不會有暴風侵襲，因此電力公司決定讓第 2 座反應爐維持連網。美國核管會表示，4 號機組由於閥門問題，於 9 月 10 日晚間已自動關閉。9 月 11 日，當地的風雨變小之後，土耳其角電廠工作人員發布了「異常警示」的訊息。

由於預報的風速未達到颶風的等級，因此聖露西電廠沒有停機的打算。但是 9 月 11 日美國核管會表示，因為在提供廠外電力的開關場的絕緣體上發現積鹽的現象，於是電廠運轉人員調降 1 號機的發電功率；該機組隨後也停機，聖露西電廠只剩 2 號機處於全功率運轉。

為了準備對付颶風，美國東南部的土耳其角、聖露西和其他核電廠的工作人員，都進行了惡劣天候的應變程序，包括確保所有容易鬆動的設備已先拆除或固定，並針對重要的系統和設備進行現場勘驗。核管會的視察員也一一檢查這些準備工作有無確實的執行。

核管會還加派了視察人員到土耳其角和

聖露西電廠，9 月 10 日，管制機構啟動了喬治亞州亞特蘭大的第 2 區事故應變中心。事故應變中心持續監控艾瑪颶風的潛勢預測，當她前進到位於喬治亞州南部的哈契（Hatch）核電廠和阿拉巴馬州南部的發利（Farley）核電廠附近時，已轉弱為熱帶風暴的等級。

喬治亞電力（Georgia Power）公司除了在運轉中的佛托（Vogtle）與哈契核電廠進行準備工作外，同時也在佛托電廠內正在興建兩座 AP1000 反應爐的工地採取應變行動。除了勘驗廠區可能因強風引起的潛在危險之外，也降低了起重機的吊臂，並將抽水泵浦運送到重要區域以減輕淹水的情形，以確保廠區和工作人員的安全。

艾瑪颶風最初在加勒比海地區登陸時是第 5 級颶風，持續風速每小時超過 185 英里，是美國史上第二大颶風。她在 9 月 10 日登陸佛羅里達後，稍稍減弱為第 4 級颶風。在颶風通過整個佛州之後，造成超過 460 萬戶停電的災情。

佛羅里達電力與照明公司總裁兼執行長西拉吉（Eric Silagy）表示，艾瑪颶風是第一個影響遍及全佛羅里達州的風暴，該公司服務的區域內共有 500 多萬戶停電，目前一組超過 19,000 名工作人員的團隊正在努力恢復電力供應。

而 8 月 25 日位於德州南部的 STP 核子營運公司（South Texas Project Nuclear Operating Company, STPNOC），旗下的兩部核電機組在哈維颶風肆虐期間仍繼續全面運轉，該電廠鋼筋混凝土的反應爐圍阻體建築和防洪措施，確保了反應爐可以繼續安全運轉。

STP 公司表示，在哈維颶風襲擊德克薩斯州墨西哥灣沿岸之前，該公司執行了惡劣天候計畫並完成防範颶風的準備工作。包括運轉人員、工程師、維護人員、緊急應變人員和安全人員在內大約 175 名員工，在颶風侵襲期間仍然在現場待命。

STP 公司總裁兼執行長科勒（Dennis Koehl）表示，他們在「核管會明確的指導方針和內部程序」之下運作，在風暴來臨前，如果預報的持續風力超過每小時 73 英里（mph），即採取步驟安全的關閉這些機組。

不過，8 月 26 日當天，廠區附近的風速在每小時 30-35 英里（約 48-56 公里 / 小時）之間，比預報的風速要小，並未發現可能影響機組操作安全的相關問題，因此將重點轉向「監測洪水或風雨動態」。

該廠的反應爐圍阻體是 1.2 公尺厚的鋼筋混凝土，重要設備和用過核燃料都有 1.2-2.1 公尺厚的鋼筋混凝土牆保護，可承受颶風和龍捲風。電廠距離海岸 16 公里遠，高於海平面 8.8 公尺。重要設施與建築物都設有水密門，所有與安全相關的設備，其建築物的防水高度至少達 12.5 公尺。

8 月 25 日，哈維增強為 4 級颶風，最大持續風速為每小時 130 英里。根據美國國家海洋和大氣管理局統計，從 8 月 24 日晚上起，德州東南部部分地區降下 64 公分的雨水，有些地區的降雨總量將近 127 公分，這足以造成毀滅性的洪水。

資料來源：

1. http://www.world-nuclear-news.org/RS-Nuclear-units-weather-Hurricane-Irma-1109177.html
2. http://www.world-nuclear-news.org/RS-Texan-nuclear-plants-run-through-Hurricane-Harvey-2908174.html

核能新聞

文・編輯室

國外新聞

中國福清核電廠 4 號機組開始商轉

中國核工業集團公司（中核集團）最近宣布，位於福建的福清核電廠 4 號機組，在今（2017）年 6 月底完成 157 束燃料裝填至爐心並完成一系列的商轉測試後，已於 9 月中正式開始商轉。該部裝置容量為 108.7 萬瓩的壓水式反應爐，建設工程始於 2012 年 11 月，加上該部機組福清電廠已有 4 部機組商轉中，1、2 號機分別從 2014 年 11 月、2015 年 10 月投入商轉，3 號機則是 2016 年 10 月，4 部機組均是 108.7 萬瓩、由中國自主研發的第二代反應爐「中國進步型壓水式反應爐（CPR-1000）」。至於 5、6 號機組則都是第三代反應爐「華龍一號」，也是中國首兩座華龍一號，預計將分別在 2019、2020 年完成建設工程。加上福清 4 號，中國目前商轉中的機組已有 37 部，建設中的則超過 20 部。

Nuclear Engineering International, 2017/06/28 & 2017/09/26

國際原子能總署燃料銀行開幕

國際原子能總署（IAEA）的低濃縮鈾燃料銀行（濃縮鈾貯存設施）於今（2017）年 8 月底於哈薩克的烏爾巴冶金工廠（Ulba Metallurgical Plant）舉行了開幕揭牌儀式，IAEA 總幹事天野之彌與哈薩克總統納札爾巴耶夫（Nursultan Nazarbayev）均出席了該儀式。這座燃料銀行貯存設施是一座面積 880 平方公尺（約 265 坪）、安全規格高的廠房，由 IAEA 所持有並負責其營運，該座燃料銀行將成為任何使用核電且積極遵守《核不擴散條約》的國家最後的燃料供應商，這些國家因為某些原因無法從正常的鈾燃料市場獲得供應。

IAEA 這座燃料銀行建設計畫的經費最初是由美國知名企業家巴菲特（Warren Buffett）在 2006 年承諾捐獻 5,000 萬美元（約 15 億新台幣）作為 IAEA 燃料銀行的建設資金，但條件是要有其他國家捐出一億美元（約 30 億新台幣），這個條件在 2009 年 3 月時在美國、科威特、歐盟、阿拉伯聯合大公國以及挪威的陸續捐贈下達成。該座燃料銀行的建設工程於 2016 年 9 月開始，並在計畫的時間內完工，支出也沒有超過預算。

World Nuclear News, 2017/08/29

日本 4 部機組申請重啟

位於佐賀縣的玄海核電廠 3、4 號機組，在今年 1 月通過日本新制安全審查後於最近陸續向日本原子力規制委員會（NRA）遞交該部機組重啟前檢查的申請，營運廠商九州電力公司預計將分別於明（2018）年 1、3 月重啟該兩部機組，並於 1 個月後開始商轉，但由於電力公司需等待 NRA 的檢查結果出來後才可知道能否如期商轉，重啟的計畫仍有可能遭到延後。九州電力公司原先期望能在年底上載包含混合氧化燃料（MOX fuel）束在內、共 193

組的核燃料至 3 號機。

另外，關西電力公司也在最近宣布預計將陸續於 1、3 月重啟位在福井縣的大飯核電廠 3、4 號機組，也已經向 NRA 申請於兩部機組執行重啟前檢查。但是，福井縣政府至今仍未同意關西電力公司重啟該兩部機組。日本在福島事故後全面停止核電機組運轉進行安檢，並啟用新制的安全規範，而目前日本已有 5 部機組通過審查，並成功重啟運轉，分別是關西核電廠的高浜核電廠 3、4 號機、四國電力公司的伊方核電廠 3 號機，以及九州電力公司的川內核電廠 1、2 號機，除了這 5 部機組之外還有 7 部機組已通過新制安全審查，朝重啟之路更近一步。

Nuclear Engineering International, 2017/08/29 & Japan Times, 2017/09/15

美國佛蒙特洋基核電廠完成乾貯設施擴建工程

美國知名能源設備公司霍爾泰（Holtec International）在最近表示已完成佛蒙特洋基（Vermont Yankee）核電廠內用過核燃料中期貯存設施擴建的主要工程，比原先預計的時間要提早。營運公司 Entergy 在 2013 年 8 月時宣布，因為經濟因素將關閉這座自 1972 年就開始運轉的沸水式反應爐；現在該部機組正在進行廠內用過核燃料的轉移，以利之後的除役作業，目前廠內數座設備都已停役，如輔助柴油發電機等，電力、空氣與飲用水供水系統均完成重新配置與改良。此次霍爾泰公司除了室外乾貯設施的擴建，廠內還完成了一些如一座新柴油發電機以及其外圍防暴裝置的安裝工程。

Nuclear Engineering International, 2017/08/27

俄羅斯提出新型封閉式核燃料循環

俄羅斯知名核後端設備公司 JSC Tenex 總經理，最近在世界核能協會（WNA）於英國倫敦舉行的研討會中表示，提供有效核後端解決方案的「新型」核燃料循環，是維持全球核能動態增長的關鍵。JSC Tenex 提出的方案把重點放在用過核燃料的再處理與再循環，確保最大限度的利用鈾與鈽資源，並減少廢棄物處置的容量與危害，但這些措施都必需遵守《核不擴散條約》，且適用於現今運轉中的核電機組。

JSC Tenex 表示，全世界用過核燃料的數量預計將在 2050 年達到 100 萬噸，從這些用過核燃料中使用再處理回收的鈾與鈽的數量，可以供 140 部 100 萬瓩（1GWe）的輕水式反應爐運轉 60 年，考慮如何將今日的負擔轉換為有價值的能源是很合理的；再處理除了可回收鈾與鈽再利用之外，也可進一步的減少廢棄物的體積與毒性，其他裂變產物也可成為放射性同位素的寶貴來源。俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）估計，俄羅斯目前的封閉式核燃料循環，再處理鈾與鈽僅會使用一次，最多只能夠使用 20% 的用過核燃料，但新型的封閉式核燃料循環則可以使用超過 75% 的用過核燃料，且僅有 2% 的用過核燃料需要處置，俄羅斯目前已開始改良其核燃料循環。

World Nuclear News, 2017/09/21

阿聯酋巴拉卡核電廠最後一部機組完成大部分主要元件安裝

阿拉伯聯合大公國（UAE）的首座核電廠巴拉克（Barakah）已於近期完成 4 號機反應爐容器與蒸汽產生器等反應爐主要元件的安裝，該部機組主要元件的安裝已完成了超過一

半，整部機組的完成進度則超過 8 成。

巴拉克核電廠反應爐容器的重量超過 500 噸，高約 15 公尺，直徑超過 4.5 公尺，是電廠最大的元件之一；蒸汽產生器（反應爐壓力槽內利用核分裂所產生的熱能來產生蒸汽的設備，所產生的蒸汽則用來推動發電機發電）的高度則接近 23 公尺，最大直徑約是 6 公尺。巴拉克電廠的 4 部機組均是由韓國製造的 APR-1000 壓水式反應爐，每部機組都配有兩部蒸汽產生器，該電廠也是韓國史上首次核電出口，1 號機組目前已接近完工狀態，正在等待監管機構核發營運許可，預計可於 2018 年開始運轉；2 號機已完成近 85%的工程，與 1 號機相同，預計於 2018 年開始運轉；3、4 號機組則分別完成 75%與 50% 的工程，分別預計於 2019 與 2020 年開始運轉。

World Nuclear News, 08/14/2017

瑞士管制機構核准新建放射性廢棄物中期貯存設施

瑞士聯邦核能安全稽查局（Federal Inspectorate of Nuclear Safety）於近期宣布，瑞士最大國家研究所保羅謝爾研究所（Paul Scherrer Institute）的中低放射性廢棄物貯存設施建設計畫是可行的，但該計畫仍有數個地方必須做出修正，如提高地震安全餘裕等。聯邦核能安全稽查局表示，這座預計將設立於瑞士北部 Wurenlingen 地區的建築將是一座低運轉風險的設施，將運轉至深層地質處置設施啟用。

保羅謝爾研究所在 2014 年 5 月時向聯邦能源局提出中期貯存設施的建造與營運許可申請，來貯存源自於醫療與工業同位素應用與研發所產生的放射性廢棄物。瑞士核電廠產生的放射性廢棄物與用過核燃料目前幾乎都貯存在保羅謝爾研究所附近的 Zwilag 中期貯存設施中。至於深層地質處置場，瑞士國家放射性廢棄物管理專責機構 Nagra，在 2015 年 2 月的時候把瑞士深層地質處置場候選場址縮減至 2 個，一個在 Jura 地區的東邊，另一個則在蘇黎世東北部。瑞士預計興建兩座深層地質處置場，來分別處置中低放射性廢棄物以及高放射性廢棄物。

NucNet, 2017/08/17

韓國新古里核電廠 4 號機延後完工

韓國水力核能電力公司（KHNP）於近期表示，位於韓國東南方新古里電廠 4 號機組的完工時間將從原先預計的今（2017）年 11 月延後至明年 9 月。KHNP 表示，該部機組工程延後的決定在 3 月時就已做好了，因為考慮到韓國各部機組商轉至今所研發的設計改良，還有為了因應去年 9 月的慶州地震而必須進行額外的地震評估工作，工程因此延期。

新古里 3、4 號機為韓國首批 APR-1400 反應爐，建設計畫於 2006 年通過審查，2008 年獲頒工程許可，該兩部機組原本預計於 2013 年底以及 2014 年 9 月分別開始商轉，但因為先前控制纜線所引起的安全問題導致啟用時間遭到延後，3 號機已在 2016 年底開始商轉，4 號機現在則預計在 1 月裝填燃料至爐心。韓國目前還有新蔚珍電廠 1、2 號機組，也都是 APR-1000 反應爐的建設工程正在進行當中，預計將分別於 2018 年 4 月與 2019 年 2 月開始商轉，但新古里與新蔚珍核電廠原本還要另外興建各兩部 APR-1000 機組的計畫目前則已暫停，待新政府決定是否要開始這批核電機組的建設工程。

Nuclear Engineering International, 2017/08/22

國內新聞

9 月 21 日立法委員與環保人士於立法院召開記者會，提及市售食用鹽因添加大量天然放射性核種鉀 40，民眾可能在不知情的狀況下，遭受不必要的輻射劑量，原能會就立委及環保人士的訴求回應說明。

鉀 40 是一種天然的放射性核種，廣泛存在於各農漁產品食物中，人體中也有一定數量的鉀 40。根據國際文獻資料顯示，正常成年人體內約有 3,700 貝克。國際間對於自然界中原本就存在的天然放射性核種，多採不予管制的立場，目前國際間也未訂定食品中所含天然放射性核種的管制標準。

「合理抑低輻射劑量」是國際公認執行輻射安全防護的基本原則，該原則並不適用於管制自然界原本存在的天然輻射，但對於經人為加工處理的商品，即使是天然放射性核種，仍應將該原則納入考量。業者因改變食鹽配方，添加含鉀元素的原料，導致成品中所含天然放射性核種鉀 40 含量偏高，確實會增加食用者的額外輻射劑量。

不過，根據國際原子能總署的報告（IAEA-TECDOC-1788），人體因攝食的緣故會累積鉀 40，且因生理代謝功能，人體會自我調節保持一定比例的鉀濃度，以維持身體正常運作，人體本身所含鉀 40 每年對成人造成輻射劑量為 0.165 毫西弗，嬰兒則為 0.185 毫西弗。因此，若就輻射安全的觀點，食用健康減鈉鹽並無明顯的輻射影響，請國人放心。

2017/09/21. 本刊訊

取樣日期:106.09.07

試樣名稱	產地	活度(貝克/千克)			
		鉀-40*	碘-131	銫-134	銫-137
1.台鹽-健康減鈉鹽	台灣	8860	—	—	—
2.台鹽-健康美味鹽	台灣	4610	—	—	—
3.台鹽-健康超鮮鹽	台灣	5063	—	—	—
4.台鹽-含碘台灣的鹽	台灣	62	—	—	—
5.台鹽-高級碘鹽	台灣	40	—	—	—
6.台鹽-特級精鹽	台灣	90	—	—	—
7.台鹽-原味料理鹽	台灣	157	—	—	—
8.統一生機-日曬海鹽	澳洲	—	—	—	—
9.紐西蘭細精鹽	紐西蘭	—	—	—	—
10.紐西蘭日曬天然海	紐西蘭	—	—	—	—
11.優・紅岩鹽	巴基斯坦	96	—	—	—
12.喜馬拉雅山岩鹽	巴基斯坦	50	—	—	—
13.禾法頌蓋朗德海鹽	法國	23	—	—	—
14.Mc 天然海鹽	法國	—	—	—	—
15.Espice 天然海鹽	澳洲	82	—	—	—
16.日本盒裝家庭料理	日本	—	—	—	—
17.AOIUMI 沖繩島鹽	日本	22	—	—	—
18.沖繩薪焚鹽	日本	27	—	—	—

備註：
1.分析日期:106.09.07～106.09.10。
2."—"表示未檢出、"*"表示天然放射性核種。

何博士的日常豆知識

Q：台灣位於地震帶上，
如果地震或海嘯一來，
會不會發生核災啊?

有人問
電廠建在臨海地震帶上
抵擋的了**地震和海嘯嘛？**

別擔心





1 增設自動急停裝置，
只要感應到0.1g以上的晃動
就會自動讓反應器安全停機。
註：0.1g相當於震度4到5級。

2 核電廠反應器廠房
建於地表深挖26公尺處的堅硬高強度岩盤上，
不會有沉陷或土壤液化情形，
也不會有震波放大效應，可確保廠房結構安全。

台灣外海海溝方向與海岸線不平行，
若有地震，也不會引發大規模海嘯。

核四廠房設計能承受7級強震與14.5公尺高的海嘯，十分安全。

何博士的日常豆知識

Q：地震有時會引發海嘯，
會不會危及核電廠安全?

真假ㄉ？
我真的很worry



日本福島一廠發生核災的 **原因之一**，
是海嘯高度(15公尺) **超過廠址高度**(10公尺)，
而引發後續一連串意外事件。
台灣所有核電廠，廠址高度都高於可能發生的海嘯，
在日本福島地震後，又**增設防海嘯牆**，更不易遭受海嘯襲擊。

單位：公尺

	核一廠	核二廠	核三廠	核四廠
廠址設計高度	11.2	12	15	12
規劃建置防海嘯牆後高度	17	17	19	14.5
依歷史資料評估最大海嘯高度	10.73	10.28	12.03	8.07

請放心

海嘯雖可怕，但我們已做好防護措施，請民眾放心。